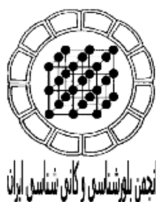
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و نهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۱۱۱ تا ۱۲۸



سنگ‌نگاری، زمین شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی کلینوپیروکسن و آمفیبول در سنگ‌های قلیایی بازیک قاعده سازند شمشک، جنوب آزادشهر، البرز شرقی

شیرین شهابی*[1]، حبیب ا... قاسمی[1]، مهدی رضائی کهخائی[1]، ژای مینگو[2]

۱-گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲-مؤسسه زمین شناسی و زمین فیزیک آکادمی علوم چین، پکن، چین

(دریافت مقاله: ۹۸/۱۲/۱۴، نسخه نهایی: ۹۹/۴/۷)

چکیده: در منطقه جنوب آزادشهر، در قاعده توالی‌های سازند شمشک، وجود دو رخنمون متفاوت از سنگ‌های آذرین بازیک به صورت توده‌های الیوین‌گابرویی و دایک‌های دیوریتی قلیایی پگماتوئیدی نمایان است. کانی‌های سازنده الیوین‌گابروها شامل الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز هستند و دیوریت‌های قلیایی نیز از آمفیبول‌های درشت بلور و پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. زمین شیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر این نمونه‌ها نشان دهنده ماهیت قلیایی ماگمای سازنده و برخاستن این ماگما از یک خاستگاه گوشته‌ای مشابه با خاستگاه نوع بازالت جزایر اقیانوسی (OIB) است. ترکیب شیمیایی کانی‌های الیوین و پلاژیوکلاز در الیوین‌گابروها به ترتیب کریزولیت و لابرادوریت است. کلینوپیروکسن‌های الیوین گابروها از نوع دیوپسید-اوژیت با ماهیت قلیایی و غیرکوهزایی هستند و در فشار حدود ۲ تا ۱۱ کیلوبار، دمای ۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن بالا تشکیل شده‌اند. آمفیبول-های دیوریت‌های قلیایی نیز با ترکیب کرسوتیت-مگنزیوهاستینگزیت (کلسیمی) از نوع آذرین مشخص شده‌اند و دارای خاستگاه گوشته‌ای هستند. دما و فشار تبلور آمفیبول‌ها، ۹۵۰ درجه سانتیگراد و در گستره ۶۰۰ تا ۷۵۰ مگاپاسکال (معادل ۶ تا ۷/۵ کیلوبار) تعیین شده‌است. پلاژیوکلازهای دیوریت‌های قلیایی دارای ترکیب آلبیتی دارند.

واژه‌های کلیدی: *سنگ‌های قلیایی بازیک؛ سازند شمشک؛ شیمی کانی کلینوپیروکسن و آمفیبول؛ آزادشهر؛ البرز شرقی.*

مقدمه

پهنه ساختاری البرز در مرز جنوبی دریای خزر و شمال قطعه ایران مرکزی واقع‌است و با روند شرقی- غربی از نواحی قفقاز کوچک تا افغانستان گسترش دارد [۱] و به عنوان بخشی از سرزمین‌های گندوانایی، پس از باز شدن اقیانوس نئوتتیس به سمت قطعه اوراسیا جابجا شده و با آن برخورد نموده‌است [۳،۲]. این پهنه به عنوان یک نوار چندکوهزادی دستخوش رویدادهای زمین‌ساختی جهانی سیمرین و آلپی شده است [۴]. اساسی ترین بخش این رویدادهای متناوب از کوهزاد ائوسیمرین آغاز شده [۵-۷] و تا فازهای انتقالی- فشارشی درون قاره‌ای ترشیری پسین-کواترنری ادامه یافته‌است [۸]. توالی‌های شیلی و ماسه سنگی با سن ترياس پسین-ژوراسیک پیشین که شاهدی بر دو رویداد سیمرین پیشین و میانی هستند، در رشته کوه های البرز، قطعه ایران مرکزی و پهنه کپه داغ به نام سازند شمشک شناخته می‌شوند. این سازند دربردارنده رسوب‌های آواری قاره‌ای ذغال‌داری است که در یک حوضه پیش‌خشکی (foreland) نهشته شده‌است [۹]. سازند شمشک به‌ویژه در پهنه البرز در بخش‌های زیرین خود، میزبان فعالیت‌های ماگمایی مافیک بوده است که به اعتقاد بسیاری از پژوهشگران، برآمده از حرکت‌های کششی پس از فازهای فشارشی تریاس میانی هستند [۱۰]. از جمله این فعالیت‌های ماگمایی می‌توان به توده‌های گابرویی ترالیتی و تشنیتی کمربن (البرز مرکزی) در اواخر تریاس [۱۲،۱۱]، سنگ‌های آذرین بازیک ژوراسیک پیشین-میانی در پهنه البرز شرقی، شمال

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۷۳۲۳۴۸۷، پست الکترونیکی: shirin.shahabi73@gmail.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

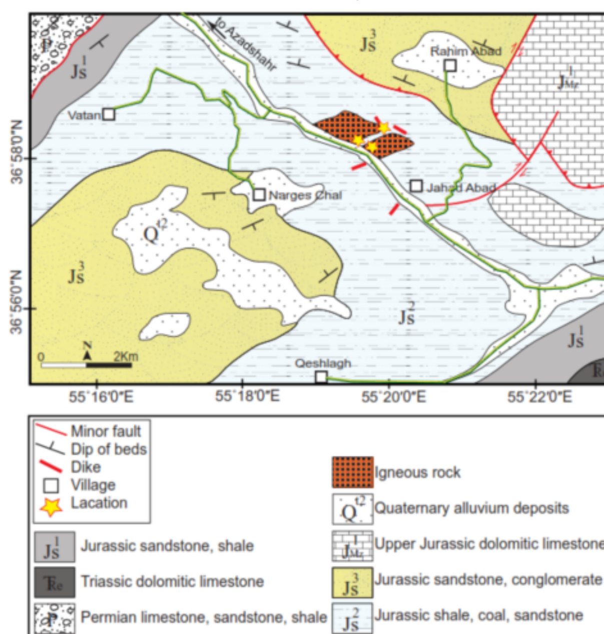
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

شرق شاهرود تا شمال غرب دامغان [۱۳- ۱۶] اشاره نمود.

سنگ‌های آذرین موجود در سازند شمشک در جنوب آزادشهر، بر پایه داده‌های نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ گرگان [۱۷] تنها به صورت روانه‌های بازالتی و یا بر اساس بررسی‌های سایر پژوهشگران [۱۳- ۱۹]، به صورت گدازه‌های بازالتی و دو آذرین لایه بزرگ جدایش یافته با ترکیب گابرویی، دیوریتی، مونزودیوریتی و مونزونیتی گزارش شده‌اند. با این وجود، براساس بررسی‌های صحرایی این پژوهش، افزون بر سنگ‌های یاد شده، رخنمون‌هایی از سنگ‌های مافیک با ترکیب دیوریتی قلیایی به شکل دایک و الیوین‌گابرویی به صورت توده‌ی نفوذی کوچک نیز دیده می‌شود. تاکنون، بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی روانه‌های بازالتی و آذرین لایه‌های جدایش یافته یاد شده تنها بر اساس تجزیه‌های زمین شیمیایی سنگ‌کل بوده و هیچ پژوهشی در مورد سنگ‌نگاری، شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی دیوریت‌های قلیایی و الیوین‌گابروها انجام نشده است، از این رو در این پژوهش، با در نظر گرفتن داده‌های پیشین و با تکیه بر نتایج جدید شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن، آمفیبول و پلاژیوکلاز، ماهیت کلی این سنگ‌ها، کانی‌های تشکیل دهنده و شرایط فیزیکو-شیمیایی تبلور آنها بررسی شد.

زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد بررسی در کنار روستای نرگس چال، در ۲۰ کیلومتری جنوب آزادشهر از توابع استان گلستان، در گستره طول‌های جغرافیایی شرقی ″۰۰ ′۲۲ ° ۵۵ - ″۰۰ ′۱۶ ° ۵۵ و عرض‌های جغرافیایی شمالی ″۰۰ ′۵۹ ° ۳۶ - ″۰۰ ′۵۶ ° ۳۶ قرار دارد و برپایه تقسیم بندی‌های ساختاری و چینه‌نگاری ایران [۱،۲۰]، در بخش شرقی پهنه البرز واقع است. زمین ریخت کلی این منطقه، از نظر ساختاری به صورت یک ناودیس بزرگ با راستای شمال شرق-جنوب غرب است که نام ناودیس نرگس چال شناخته می‌شود [۲۱]. قدیمی‌ترین سنگ‌های رسوبی قابل دیده در منطقه مورد بررسی به ترتیب شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آهکی، ماسه سنگی و شیلی دوره پرمین بوده (واحد P) و پس از آن، تناوبی از آهک‌های دولومیتی نازک لایه و ضخیم لایه به سن تریاس (واحد TRe) هستند که در دو طرف ناودیس قرار دارند (شکل ۱). از نظر چینه‌نگاری، شناخته‌شده‌ترین توالی رسوبی منطقه شامل لایه-های شیل و ماسه سنگ ذغال‌دار شمشک به سن ژوراسیک هستند که در بخش میانی ناودیس واقع بوده و شامل واحدهای سنگی J_s^1 (تناوب ماسه سنگ و شیل سیاه)، J_s^2 (شیل، شیل ذغال‌دار و ماسه سنگ)، J_s^3 (ماسه سنگ و کنگلومرای ریزدانه) و J_{Mz}^1 (آهک‌های دولومیتی آذرین لایه‌یسی شده ضخیم لایه و آهک) هستند. جوان ترین توالی‌های دیده شده در این منطقه نیز دربردارنده رسوب های آبرفتی کواترنری (واحد Q^{t2}) هستند که اغلب دره‌ها و مسیر رودخانه‌ها را پوشانده‌اند. سنگ‌های آذرین مورد بررسی به شکل دایک‌هایی با ضخامت ۳ تا ۵ متر و توده‌های نفوذی کوچک در واحد J_s^2 سازند شمشک نفوذ کرده‌اند (شکل ۱).



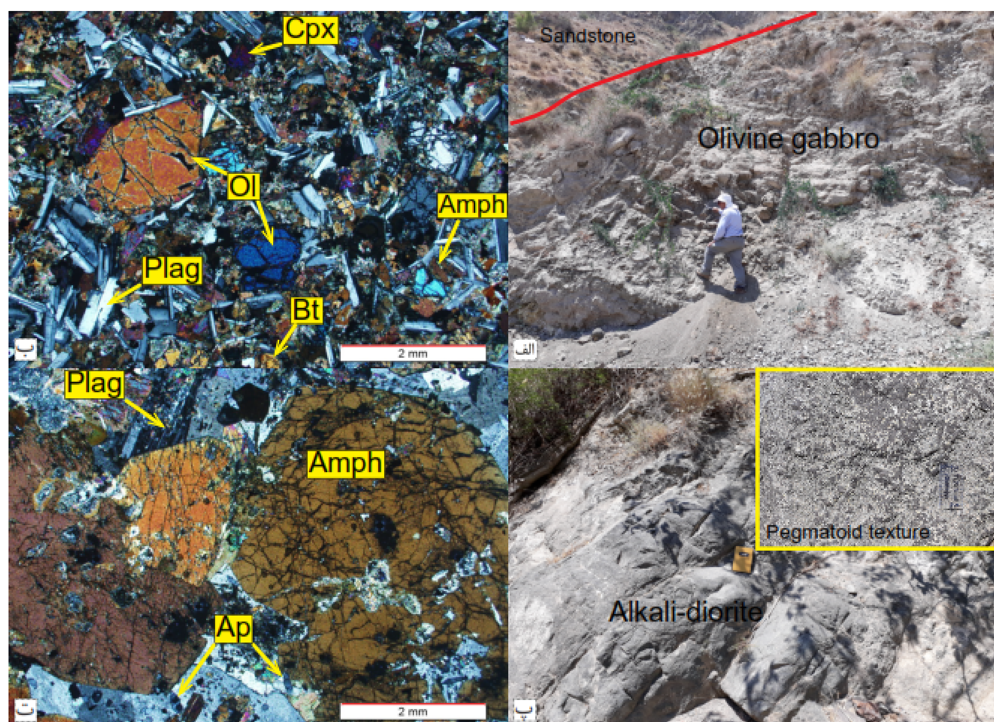
شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه جنوب آزادشهر و جایگاه نمونه‌های برداشت شده، برگرفته از مراجع [۱۷،۲۱] با تغییرات.

روابط صحرایی و سنگ‌نگاری

چنان که اشاره شد، بر اساس پیمایش‌ها و مشاهدات صحرایی دقیق در این پژوهش، افزون بر بازالت‌ها و آذرین لایه‌های گابرویی، وجود دو رخنمون متفاوت از مجموعه سنگ‌های مافیک به صورت توده‌های کوچک الیوین‌گابرویی و دایک‌های دیوریتی قلیایی آشکار شد. گروه نخست سنگ‌های مافیک این منطقه، الیوین‌گابروها هستند که به صورت توده‌های کوچک با سیمای تیره رنگ و گاهی با سطوح فرسایشی به نسبت کروی شکل (فرسایش پوست پیازی) در توالی‌های شیل و ماسه سنگی سازند شمشک برونزد دارند (شکل ۲ الف). گروه دوم شامل دایک‌های دیوریتی قلیایی با ضخامتی حدود ۳ الی ۵ متر و درازای بیش از ۱۰ متر با راستای شمال-شمال غربی هستند که به صورت تقریبا عمودی و مایل نسبت به لایه‌های سازند شمشک قرار دارند. این سنگ‌ها به علت وجود کانی‌های سنگ ساز مافیک تیره چون آمفیبول‌های درشت بلور که حالت پگماتوئیدی نشان می‌دهند، دارای سیمای تیره رنگ بوده و نسبت به میزبان خود به خوبی قابل تمایز هستند. بافت پگماتوئیدی موجود در این دایک‌ها در تصویر ۲-پ قابل دیده است. شواهد لبه انجماد سریع و اثر دمایی ناشی از نفوذ سنگ-های مافیک در سنگ میزبان، در هر دو گروه سنگی یعنی الیوین‌گابروها و دیوریت‌های قلیایی دیده می‌شود.

الیوین‌گابروها به شکل توده‌های نفوذی کوچک با ترکیب کانی شناسی یکنواخت در سازند شمشک نفوذ کرده‌اند. اندازه کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها در مرکز توده، درشت تر بوده و در لبه به علت سریع‌تر سرد شدن به صورت ریزبلور است. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده الیوین‌گابروها شامل پلاژیوکلاز (۳۰ تا ۴۰ درصد)، کلینوپیروکسن (۲۰ تا ۳۰ درصد) و الیوین (۱۰ تا ۲۰ درصد)، آمفیبول‌ها حدود ۱۰ درصد و بیوتیت ها حدود ۵ درصد هستند. کانی‌های مگنتیت و آپاتیت نیز به عنوان کانی‌های فرعی آن‌ها شناخته می‌شوند. بافت‌های غالب دیده شده در این گروه از سنگ‌های مافیک انباشتی و در برخی موارد اُفیتیک و ساب‌اُفیتیک هستند. الیوین‌ها اغلب شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با اندازه ۰/۱ تا ۲ میلیمتر هستند و کلینوپیروکسن‌ها نیز به صورت نیمه شکل‌دار تا بی شکل با اندازه ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر دیده می‌شوند. اندازه پلاژیوکلازها در نمونه‌های ریزبلور تا ۰/۲ میلیمتر و در نمونه-های درشت بلورتر گاهی به ۲ تا ۳ میلیمتر نیز می‌رسد. بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی شکل پلاژیوکلاز اغلب همراه با ماکل چندریخت دیده می‌شوند. بر اساس مشاهدات سنگ-نگاری چون روابط کانی‌ها، بافت و اندازه بلورها، کلینوپیروکسن‌ها و الیوین ها فازهای اولیه را تشکیل می‌دهند و پس از آنها پلاژیوکلازها شکل گرفته‌اند. برخی از بلورهای درشت پلاژیوکلاز، بلورهای الیوین و کلینوپیروکسن را به شکل بافت پویکیلیتیک احاطه نموده‌اند. آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها نیز به صورت نیمه شکل‌دار تا بی شکل، برآمده از فرایند تبلور تاخیری در حضور سیال‌های آبگین مراحل نهایی تبلور هستند. همچنین در برخی نمونه‌ها، اورالیتی شدن کلینوپیروکسن‌ها، سریسیتی شدن پلاژیوکلازها و تبدیل آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها به کلریت نیز دیده می‌شود (شکل ۲ ب).

دیوریت قلیایی به گونه‌ای از دیوریت‌ها گفته می‌شود که در کانی شناسی خود دارای یک کانی قلیایی تیره رنگ مانند آمفیبول کرسوتیتی و یا آمفیبول نوع بارکِویکیت ویژه در پگماتیت‌ها باشند. دیوریت‌های قلیایی این منطقه اغلب به صورت دایک‌های تقریبا عمود بر لایه‌ها با ضخامت ۳ تا ۵ متر رخنمون دارند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل ۴۰ تا ۵۰ درصد آمفیبول، ۳۰ تا ۴۰ درصد پلاژیوکلاز و حدود ۵ تا ۱۰ درصد آپاتیت هستند. کانی کوارتز نیز گاهی به صورت ریزبلور دیده می‌شود. تبلور آمفیبول‌های قهوه‌ای رنگ و نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار با اندازه ۲ تا ۱۰ میلیمتر و یا بزرگتر با تراکم بالا در این سنگ‌ها منجر به ایجاد بافت دانه‌ای و پگماتوئیدی شده‌است. بلورهای پلاژیوکلاز بیشتر به صورت بی شکل تا نیمه شکل‌دار با اندازه ۰/۵ تا ۱ میلیمتر، همراه با ماکل چندریخت ظاهر شده و تا حدی در معرض دگرسانی سریسیتی قرار گرفته‌اند. گاهی آمفیبول‌ها در بخش‌هایی از رَخ‌ها و یا محل شکستگی‌ها به کلریت و یا بیوتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۲-ت). بلورهای آپاتیت نیز به صورت شکل‌دار با اندازه ۰/۱ تا ۱ میلیمتر و گاهی با مقطع عرضی شش ضلعی تبلور یافته‌اند.



شکل ۲ تصاویر صحرایی از حضور سنگ‌های آذرین مافیک در سازند شمشک در منطقه جنوب آزادشهر به همراه تصاویر میکروسکوپی آنها. الف- رخنمون توده‌ی کوچک الیوین‌گابرویی در میان توالی ماسه سنگی شمشک، ب- الیوین‌گابرو و حضور بلورهای پلاژیوکلاز، الیوین، کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت در آن، پ- دایک دیوریتی قلیایی به همراه نمای نزدیک از سیمای بافت پگماتوئیدی آمفیبول‌ها و ت- بلورهای درشت آمفیبول در نمونه دیوریتی قلیایی. (نشانه های اختصاری شامل: Amph : آمفیبول، Plag : پلاژیوکلاز، CPX : کلینوپیروکسن، Ol : الیوین، Bt : بیوتیت و Ap : آپاتیت هستند.

روش بررسی

طی بررسی‌های زمین شناسی منطقه جنوب آزادشهر و توالی-های رسوبی موجود در آن، تعداد ۱۶ نمونه سنگی از مجموعه سنگ‌های آذرین مافیک رخنمون یافته در سازند شمشک برداشت شد. پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری، تعداد ۸ نمونه با کمترین دگرسانی برای انجام تجزیه‌های زمین‌شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی انتخاب شدند. این نمونه‌ها شامل ۵ نمونه دیوریت قلیایی و ۳ نمونه الیوین‌گابرو هستند. مقدار تمرکز عناصر اصلی موجود در این نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی x (XRF) توسط دستگاه AXIOS و عناصر خاکی نادر و کمیاب به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) با دستگاه finnigan Mat Element در آزمایشگاه بنیاد زمین شناسی و زمین فیزیک انجمن علوم چین، IGGCAS در پکن تجزیه شدند. پس از تهیه مقاطع نازک-صیقلی از دو نمونه دیوریت قلیایی و سه نمونه الیوین‌گابرو، تجزیه شیمی کانی‌های آنها برای ۹۰ نقطه از جمله الیوین، پیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول در آزمایشگاه IGGCAS با استفاده از ریزپردازشگر الکترونی CAMECA SXFive انجام شد.

بحث

زمین شیمی عناصر اصلی و کمیاب

مقدار تمرکز عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده‌اند. بررسی‌های سنگ‌نگاری و مقدار مواد فرار (LOI) سنگ‌های مافیک منطقه جنوب آزادشهر (۱٫۳۴ تا ۳٫۹۱ درصد وزنی) نشان می‌دهد که مقدار دگرسانی در مقاطع نازک نیز کم تا متوسط است. درصد وزنی SiO_2 نمونه‌ها از ۴۱٫۸۶ تا ۵۰٫۱۱ در تغییر بوده و در نمودار رده‌بندی سنگ‌های آذرین TAS، یعنی مجموع قلیایی‌ها (Na_2O+K_2O) نسبت به SiO_2 [۲۲]، تقریبا همه نمونه‌ها در بالای منحنی تفکیک کننده سری‌های قلیایی و در میدان‌های پریدوگابرو، گابرو و فوییدگابرو قرار دارند (شکل ۳ الف). همچنین در نمودار تقسیم‌بندی سنگ‌ها براساس مقدار Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۲۳]، نمونه‌های جنوب آزادشهر در میدان گابروهای قلیایی واقع هستند (شکل ۳ ب). نمونه‌های

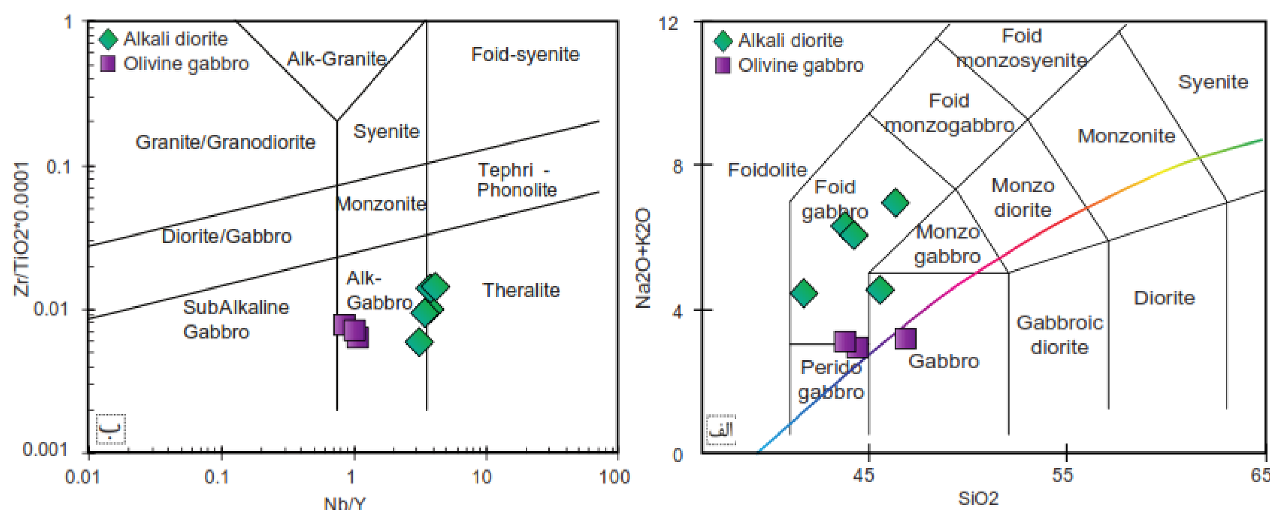
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

دیوریتی قلیایی به علت بالا بودن مقدار Nb، کمی به سمت گستره سنگ‌های زیر اشباع از آذرین لایهیس (ترالیت) مایل شده‌اند. مقدار عدد منیزیم بالا در سنگ‌های مافیک (#Mg بین ۶۸ تا ۷۵) نشان دهنده ناشی شدن آنها از یک ماگمای اولیه است [۲۴]. میانگین مقدار #Mg در الیوین‌گابروها و دیوریت‌های قلیایی به ترتیب ۷۰ و ۵۲ است. این مقادیر نشان می‌دهند که خاستگاه احتمالی الیوین‌گابروها اولیه است در حالی‌که دیوریت‌های قلیایی تا حدی فرایندهای تبلور جدایشی را پشت سر گذاشته و احتمالا بخش‌های جدایش یافته یک ماگمای مافیک واحد بوده‌اند.

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمی سنگ‌کل عناصر اصلی (درصد وزنی) و کمیاب (ppm) برای نمونه‌های مافیک جنوب آزادشهر.

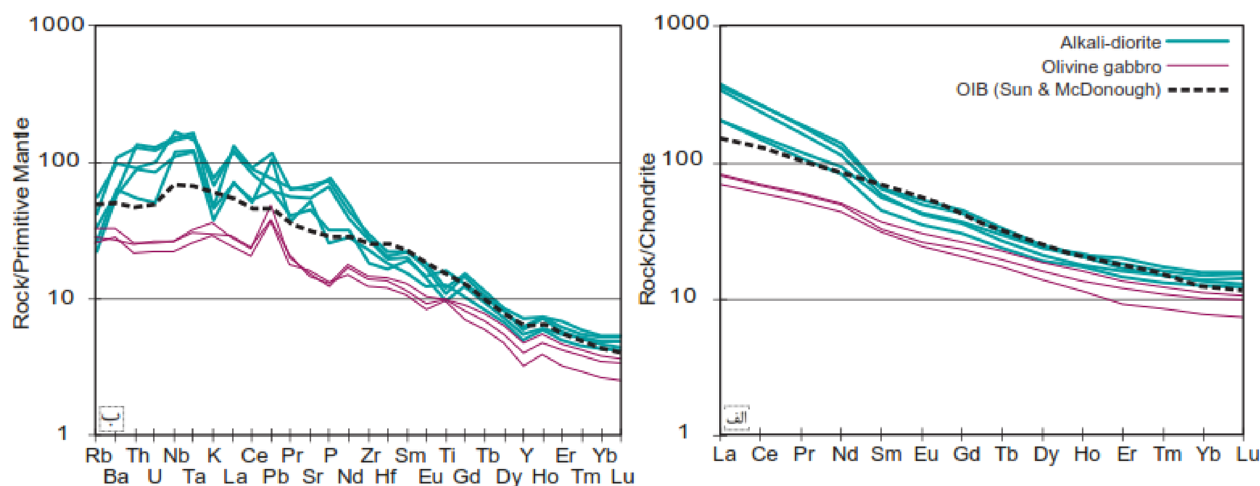
Sample	Q-4	Q-5	Q-7	Q-8	Z-8	Q-12	Q-14	Q-15
Type	Alkali-diorite	"	"	"	"	Olivine gabbro	"	"
SiO_2	۲۵/۴۴	۸۶/۴۱	۴۹/۴۵	۳۱/۴۶	۷۵/۴۳	۹۱/۴۶	۴۹/۴۴	۹۱/۴۳
TiO_2	۳۹/۲	۵۱/۳	۷۶/۲	۱۲/۲	۶۲/۲	۱۱/۲	۱۳/۲	۰۹/۲
Al_2O_3	۶۷/۱۶	۹۱/۱۳	۴۳/۱۴	۲۹/۱۷	۴۷/۱۶	۴۴/۱۱	۹۹/۹	۹۲/۱۰
Fe_2O_3T	۷۹/۱۰	۹۴/۱۱	۸۲/۱۰	۳۶/۱۱	۷۸/۱۱	۰۳/۱۳	۱۸/۱۴	۵۲/۱۴
MnO	۲/۰	۱۶/۰	۱۷/۰	۱۷/۰	۱۴/۰	۱۷/۰	۱۸/۰	۱۷/۰
MgO	۹۳/۳	۵۲/۹	۹	۸۲/۳	۷۹/۴	۲۶/۱۲	۶۹/۱۵	۴۶/۱۳
CaO	۰۵/۱۰	۷۳/۱۰	۹۸/۹	۲۶/۷	۹۶/۸	۷۱/۸	۱۲/۸	۲۸/۸
Na_2O	۵۷/۴	۹۹/۲	۴۳/۳	۶۵/۴	۲۵/۴	۲۹/۲	۸۶/۱	۲۵/۲
K_2O	۴۴/۱	۴۲/۱	۱۶/۱	۳۳/۲	۰۷/۲	۸۹/۰	۰۸/۱	۸۶/۰
P_2O_5	۶/۱	۷/۰	۵۷/۰	۴۵/۱	۶۹/۱	۲۸/۰	۲۷/۰	۲۸/۰
LOI	۶۲/۳	۵۶/۱	۵۲/۱	۵۶/۲	۳	۳۴/۱	۳۶/۱	۳۴/۳
TOTAL	۵/۹۹	۳/۹۸	۳۲/۹۹	۳۱/۹۹	۵۷/۹۹	۴۲/۹۹	۳۵/۹۹	۰۸/۱۰۰
Be	۲۴/۲	۴۶/۱	۹۳/۱	۴۶/۲	۳	۹۵/۰	۹۵/۰	۸۲/۰
Sc	۶۲/۷	۵۲/۳۰	۶۷/۲۶	۰۷/۷	۱۰	۹۳/۲۵	۲۷/۲۴	۷۵/۱۹
V	۸/۱۸۶	۴۳/۳۰۷	۴۴/۲۲۲	۲/۱۵۰	۲۳۵	۲۶/۲۱۰	۵۶/۱۹۹	۶۳/۱۲۴
Cr	۵۹/۳	۴۵/۳۲۶	۲۳/۳۴۸	۴۸/۲۲	۰۵/۴۱	۰۶/۵۸۵	۶۷/۵۹۹	۲۶/۵۳۴
Co	۰۶/۲۶	۵۱/۴۶	۸۷/۳۹	۸۷/۲۲	۳۳	۰۹/۵۸	۲۱/۶۹	۹۶/۶۴
Ni	۳۱/۱۴	۲۸/۱۶۱	۷۲/۱۵۱	۱۶/۱۹	۲۰	۸۴/۳۷۱	۲۵/۴۶۸	۵۳/۴۳۶
Ga	۸۴/۲۲	۷۶/۱۷	۱۲/۱۷	۹۳/۲۰	۵/۲۱	۵۹/۱۶	۶۱/۱۳	۸۶/۱۳
Rb	۵۸/۲۱	۸۹/۱۶	۰۹/۱۴	۷۹/۲۶	۴/۳۵	۷۷/۱۷	۴۱/۲۰	۳/۱۶
Sr	۵۹/۱۴۶۸	۴۷/۹۶۱	۲۴/۱۱۰۹	۳۵/۱۱۸۲	۹/۱۳۲۱	۵۴/۳۰۸	۱۳/۳۱۸	۳۶/۳۳۵
Y	۸۶/۲۸	۳۳/۲۷	۰۷/۲۳	۴۲/۲۵	۲/۳۳	۴۲/۲۱	۲۲/۱۸	۶۲/۱۴
Zr	۷۶/۳۳۷	۰۵/۲۰۷	۰۷/۲۵۸	۷۲/۳۰۵	۸/۳۰۸	۶۱/۱۶۲	۳۵/۱۵۳	۸۹/۱۳۵
Nb	۶۹/۱۰۹	۷۳/۸۵	۳۵/۸۰	۸۴/۱۰۳	۶/۱۲۰	۳۱/۱۸	۶۲/۱۸	۵/۱۵
Cs	۶۶/۰	۵۸/۰	۵۴/۰	۶۱/۰	۸/۰	۳۸/۰	۶۶/۰	۵۳/۰
Ba	۸/۴۳۰	۱۹/۴۵۱	۲۹/۴۰۷	۲۹/۷۶۳	۶۷۹	۰۵/۱۸۶	۳۴/۲۲۸	۵۸/۱۹۷
La	۷/۹۰	۴۵،۴۸	۴۳/۴۹	۳۱/۸۲	۸/۸۴	۵۲/۱۹	۰۳/۱۹	۴۸/۱۶
Ce	۲۷/۱۶۴	۰۲/۹۷	۸۸/۹۱	۴۱/۱۴۷	۱/۱۵۸	۷۸/۴۱	۸۲/۴۰	۲۱/۳۶
Pr	۷۶/۱۷	۵/۱۱	۴۶/۱۰	۷۲/۱۵	۰۳/۱۸	۷۱/۵	۵۳/۵	۸۳/۴
Nd	۶۸/۶۰	۷۴/۴۳	۲۱/۳۹	۵۱/۵۳	۸/۶۴	۵۸/۲۳	۶۵/۲۲	۲۲/۲۰
Sm	۰۱/۱۰	۵۸/۸	۹۷/۶	۱۳/۹	۹۵/۹	۶۶/۵	۰۱/۵	۷۲/۴
Eu	۹/۲	۵۱/۲	۰۸/۲	۴۳/۲	۰۹/۳	۷۴/۱	۵۲/۱	۴/۱
Gd	۹۱،۸	۷۴/۷	۳۲/۶	۴۶/۷	۲۳/۹	۳۲/۵	۷۷/۴	۱۹/۴
Tb	۱۷/۱	۱۲/۱	۹۱/۰	۰۲/۱	۲۵/۱	۸۴/۰	۷۳/۰	۶۴/۰
Dy	۱۶/۶	۱۳/۶	۹۶/۴	۳۹/۵	۳۴/۶	۷/۴	۰۶/۴	۴۷/۳
Ho	۲۳/۱	۱۹/۱	۹۹/۰	۰۱/۱	۲۱/۱	۹/۰	۷۷/۰	۶۴/۰
Er	۰۵/۳	۸۳/۲	۴۶/۲	۷۱/۲	۳۲/۳	۲۳/۲	۹۸/۱	۵۲/۱
Tm	۴۲/۰	۳۹/۰	۳۴/۰	۳۹/۰	۴۴/۰	۳۱/۰	۲۸/۰	۲۱/۰
Yb	۶۱/۲	۳۴/۲	۱۶/۲	۴۲/۲	۶۷/۲	۸۸/۱	۷۱/۱	۳/۱
Lu	۴/۰	۳۳/۰	۳۲/۰	۳۶/۰	۴/۰	۲۷/۰	۲۵/۰	۱۹/۰
Hf	۸۷/۶	۲۱/۵	۶۷/۵	۲۱/۶	۳/۶	۳۶/۴	۱۱/۴	۶۷/۳
Ta	۸۱/۶	۰۵/۵	۹۳/۴	۴۳/۶	۹/۵	۲۲/۱	۳/۱	۰۵/۱
Pb	۳/۸	۴۷/۴	۶۶/۷	۴۱/۴	–	۶۹/۲	۳۷/۳	۶۲/۲
Th	۵۸/۱۱	۶۹/۴	۶۴/۷	۹۹/۱۰	۸/۷	۰۸/۲	۱۵/۲	۸۴/۱
U	۷/۲	۰۸/۱	۷۹/۱	۶۳/۲	۱/۲	۵۵/۰	۵۴/۰	۴۶/۰
Mg#	۹/۴۵	۶۵	۶۶	۹/۴۳	۶۵/۴۸	۷/۶۸	۱/۷۲	۴/۶۸
La(n)/Yb	۸۹/۲۴	۸۵/۱۴	۳۹/۱۶	۴۱/۲۴	۷۸/۲۲	۴۴/۷	۸	۰۹/۹

[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]



شکل ۳ موقعیت نمونه‌های آذرین منطقه جنوب آزادشهر در نمودارهای رده‌بندی سنگ‌های آذرین. الف- Na_2O+K_2O نسبت به SiO_2 [۲۲] و ب- Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۲۳].

نمودارهای فراوانی عناصر خاکی نادر (REE) بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه [۲۵] در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. بر اساس نمودار REE بهنجار شده نسبت به کندریت، الگوی فراوانی این عناصر در همه نمونه‌ها با غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک نسبت به عناصر متوسط و سنگین و بدون ناهنجاری منفی در Eu مشخص می‌شود، به طوری‌که میانگین نسبت $La_{(n)}/Yb_{(n)}$ در دیوریت‌های قلیایی و الیوین-گابروها به ترتیب برابر با ۲۰٫۶۶ و ۸٫۱۸ است. چنانکه در شکل ۴ نیز دیده می‌شود، دیوریت‌های قلیایی و الیوین‌گابروهای مورد بررسی دارای الگوهایی مشابه با الگوی عناصر خاکی نادر و چندعنصری بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) هستند. به طورکلی، دیوریت‌های قلیایی دارای بیشترین فراوانی کلی REE هستند. این امر با کمتر بودن عدد منیزیم در دیوریت-های قلیایی نسبت به الیوین‌گابروها همخوانی دارد و تأییدی بر طبیعت جدایش یافته تر آنهاست. فراوانی عناصر Ti، P، Nb و Ta و به طورکلی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) در همه نمونه‌های منطقه جنوب آزادشهر تا چند ده برابر نسبت به مقادیر گوشته اولیه می‌تواند نشان دهنده ماهیت قلیایی و غنی شده ماگمای سازنده این سنگ‌ها باشد.



شکل ۴ الف- نمودار عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت برای نمونه‌های مافیک جنوب آزادشهر [۲۵] و ب- نمودار چندعنصری عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۲۵]. الگوی شاخص بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) برای مقایسه رسم شده‌اند [۲۵].

شیمی کانی

برای دستیابی به ترکیب شیمیایی کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول، نمونه‌های سالم و دگرسان نشده این کانی‌ها انتخاب و به روش ریزپردازشگر الکترونی (EPMA) تجزیه نقطه‌ای شدند. نتایج اکسیدهای عناصر اصلی از کانی‌های نمونه‌های دیوریت قلیایی و الیوین-گابرو و کاتیون‌های محاسبه شده آنها (برحسب a.p.f.u) در جدول های ۲- ۵ آورده شده‌اند.

جدول ۲ نتایج تجزیه ترکیب شیمیایی کانی پلاژیوکلاز در الیوین‌گابروها و دیوریت‌های قلیایی جنوب آزادشهر به روش EPMA.

SAMPLE	Q-5-1	Q-5-2	Q-5-3	Q-5-4	Q-5-5	Q-12-1	Q-12-2	Q-12-3	Q-12-4	Q-12-5	Q-12-6	Q-12-7	Q-12-8
SiO_2	۵۸/۶۸	۱۲/۶۸	۰۵/۶۸	۸۷/۶۷	۳۶/۶۸	۰۴/۵۲	۰۴/۵۲	۱۲/۵۳	۶۲/۵۱	۰۱/۵۳	۱۸/۵۲	۲۸/۵۲	۴۱/۵۲
TiO_2	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱/۰	۰۹/۰	۰۶/۰	۰۹/۰	۱/۰	۰۷/۰	۰۹/۰	۱/۰
Al_2O_3	۵۹/۱۹	۷۹/۱۹	۹/۱۹	۵۱/۱۹	۶۵/۱۹	۱۷/۳۰	۹۳/۲۹	۹۸/۲۷	۵۹/۳۰	۵۲/۲۹	۱۷/۳۰	۹۱/۲۹	۷۸/۲۹
Cr_2O_3	۰۲/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۱/۰	۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰
FeO*	۰۲/۰	۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۴/۰	۵۹/۰	۵۸/۰	۲۲/۱	۶۱/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۷/۰	۶۲/۰
MnO	۰۲/۰	۰	۰	۰	۰	۰۵/۰	۰	۰۵/۰	۰۱/۰	۰	۰۳/۰	۰	۰
MgO	۰	۰۱/۰	۰	۰	۰	۱۶/۰	۱۳/۰	۴۷/۱	۱۷/۰	۱۱/۰	۱۸/۰	۱۲/۰	۱۱/۰
CaO	۲۴/۰	۳۳/۰	۲۴/۰	۲۶/۰	۲۵/۰	۱۷/۱۳	۸۵/۱۲	۳۸/۱۰	۴۱/۱۳	۰۷/۱۲	۷۲/۱۲	۸۹/۱۲	۶۲/۱۲
Na_2O	۸۱/۱۱	۶۷/۱۱	۷/۱۱	۷۲/۱۱	۸۵/۱۱	۸/۳	۰۷/۴	۶۳/۴	۷۵/۳	۳۵/۴	۱۸/۴	۰۴/۴	۱۶/۴
K_2O	۰۴/۰	۰۶/۰	۰۵/۰	۰۵/۰	۰۶/۰	۲۲/۰	۲۳/۰	۲۹/۰	۲/۰	۲۶/۰	۲۳/۰	۲۳/۰	۲۴/۰
NiO	۰۱/۰	۰	۰	۰	۰۱/۰	۰	۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰	۰	۰۲/۰
Total	۳۲/۱۰۰	۹۷/۹۹	۹۷/۹۹	۴۴/۹۹	۲۲/۱۰۰	۳/۱۰۰	۹۳/۹۹	۱۹/۹۹	۴۷/۱۰۰	۹۴/۹۹	۲۸/۱۰۰	۱۶/۱۰۰	۰۷/۱۰۰
An	۱۱/۱	۵۴/۱	۱۱/۱	۲۱/۱	۱۶/۱	۷۱/۶۵	۵۹/۶۳	۳۳/۵۵	۴۱/۶۶	۵۴/۶۰	۷۱/۶۲	۸۱/۶۳	۶۶/۶۲
O	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۹۸۸/۲	۹۷۹/۲	۹۷۶/۲	۹۸۴/۲	۹۸۴/۲	۳۶۲/۲	۳۷/۲	۴۳۱/۲	۳۴۱/۲	۴۰۶/۲	۳۶۷/۲	۳۷۵/۲	۳۸۲/۲
Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۴/۰	۰۰۳/۰	۰۰۲/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۴/۰
Al	۰۰۶/۱	۰۲/۱	۰۲۵/۱	۰۱۱/۱	۰۱۱/۱	۶۱۴/۱	۶۰۷/۱	۵۰۹/۱	۶۳۵/۱	۵۷۹/۱	۶۱۳/۱	۶۰۱/۱	۵۹۵/۱
Cr	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰
Fe*	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۲/۰	۰۲۲/۰	۰۲۲/۰	۰۴۷/۰	۰۲۳/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲۲/۰	۰۲۴/۰
Mn	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۲/۰	۰	۰۰۲/۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰
Mg	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰۱۱/۰	۰۰۹/۰	۱/۰	۰۱۱/۰	۰۰۸/۰	۰۱۲/۰	۰۰۸/۰	۰۰۸/۰
Ca	۰۱۱/۰	۰۱۵/۰	۰۱۱/۰	۰۱۲/۰	۰۱۲/۰	۶۴/۰	۶۲۷/۰	۵۰۹/۰	۶۵۱/۰	۵۸۷/۰	۶۱۸/۰	۶۲۷/۰	۶۱۴/۰
Na	۹۹۸/۰	۹۸۹/۰	۹۹۲/۰	۹۹۹/۰	۰۰۳/۱	۳۳۴/۰	۳۵۹/۰	۴۱۱/۰	۳۳/۰	۳۸۳/۰	۳۶۸/۰	۳۵۶/۰	۳۶۶/۰
K	۰۰۲/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۱۳/۰	۰۱۳/۰	۰۱۷/۰	۰۱۲/۰	۰۱۵/۰	۰۱۳/۰	۰۱۳/۰	۰۱۴/۰
Ni	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰
Total	۰۰۸/۵	۰۰۷/۵	۰۰۹/۵	۰۱۱/۵	۰۱۴/۵	۰۰۱/۵	۰۱/۵	۰۲۷/۵	۰۰۸/۵	۵	۰۱۴/۵	۰۰۶/۵	۰۰۷/۵

ادامه جدول ۲

SAMPLE	Q-14-1	Q-14-2	Q-14-3	Q-14-4	Q-14-5	Q-14-6	Q-14-7	Q-15-1	Q-15-2	Q-15-3	Q-15-4	Q-15-5	Q-15-6
SiO_2	۶۱/۵۱	۳۸/۵۱	۸/۵۵	۲۶/۵۲	۹۶/۵۲	۹۶/۵۰	۳/۵۱	۷۹/۵۱	۲۶/۵۱	۴۱/۵۱	۷۴/۵۱	۶/۵۱	۶۲/۵۱
TiO_2	۰۹/۰	۱/۰	۰۷/۰	۱۳/۰	۰۹/۰	۱/۰	۱۴/۰	۱۱/۰	۱/۰	۱۱/۰	۱/۰	۱۲/۰	۰۹/۰
Al_2O_3	۳۶/۳۰	۴۶/۳۰	۴۷/۲۸	۲۶/۳۰	۹۴/۲۹	۷۷/۳۰	۵۱/۳۰	۹۲/۲۹	۵۵/۳۰	۲۱/۳۰	۲۵/۳۰	۳۸/۳۰	۵۷/۳۰
Cr_2O_3	۰	۰	۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰	۰	۰۲/۰	۰	۰	۰	۰
FeO*	۵۴/۰	۶۳/۰	۳۶/۰	۴۵/۰	۵۳/۰	۵۶/۰	۶۲/۰	۵۵/۰	۶۱/۰	۵۸/۰	۵۹/۰	۵۸/۰	۶۵/۰
MnO	۰	۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰	۰۳/۰	۰۱/۰	۰
MgO	۱/۰	۱۱/۰	۰۷/۰	۰۸/۰	۰۵/۰	۱/۰	۱/۰	۱۲/۰	۱۱/۰	۱/۰	۱۱/۰	۱۳/۰	۱۱/۰
CaO	۰۶/۱۳	۰۹/۱۳	۹۹/۹	۶۲/۱۲	۱۱/۱۲	۱۶/۱۳	۲۴/۱۳	۱۵/۱۳	۳۲/۱۳	۳۹/۱۳	۲۸/۱۳	۴۵/۱۳	۴/۱۳
Na_2O	۹۸/۳	۸۷/۳	۶/۵	۱۹/۴	۵۴/۴	۸۴/۳	۶۶/۳	۱۵/۴	۹۷/۳	۹۶/۳	۹۹/۳	۸۷/۳	۰۲/۴
K_2O	۲/۰	۲۳/۰	۳۷/۰	۲۴/۰	۲۸/۰	۱۸/۰	۲۳/۰	۲۵/۰	۲۴/۰	۲۴/۰	۲۶/۰	۲۴/۰	۲۳/۰
NiO	۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰	۰	۰۱/۰	۰	۰	۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰	۰
Total	۹۳/۹۹	۸۹/۹۹	۷۵/۱۰۰	۲۵/۱۰۰	۵۲/۱۰۰	۷۱/۹۹	۸۴/۹۹	۰۵/۱۰۰	۱۹/۱۰۰	۰۱/۱۰۰	۳۵/۱۰۰	۳۷/۱۰۰	۷/۱۰۰
An	۴۸/۶۴	۱۳/۶۵	۶۲/۴۹	۴۴/۶۲	۵۶/۵۹	۴۵/۶۵	۶۳/۶۶	۶۵/۶۳	۹۷/۶۴	۱۶/۶۵	۷۷/۶۴	۷۳/۶۵	۷۹/۶۴
O	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۳۵۱/۲	۳۴۳/۲	۴۹۶/۲	۳۶۹/۲	۳۹۳/۲	۳۲۹/۲	۳۴۱/۲	۳۶/۲	۳۳۵/۲	۳۴۵/۲	۳۵۱/۲	۳۴۴/۲	۳۳۹/۲
Ti	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۲/۰	۰۰۴/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۵/۰	۰۰۴/۰	۰۰۳/۰	۰۰۴/۰	۰۰۴/۰	۰۰۴/۰	۰۰۳/۰
Al	۶۳/۱	۶۳۸/۱	۵۰۱/۱	۶۱۷/۱	۵۹۴/۱	۶۵۷/۱	۶۴۱/۱	۶۰۷/۱	۶۴/۱	۶۲۴/۱	۶۲/۱	۶۲۷/۱	۶۳۳/۱
Cr	۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰
Fe*	۰۲۱/۰	۰۲۴/۰	۰۱۳/۰	۰۱۷/۰	۰۲/۰	۰۲۱/۰	۰۲۳/۰	۰۲۱/۰	۰۲۳/۰	۰۲۲/۰	۰۲۲/۰	۰۲۲/۰	۰۲۵/۰
Mn	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰
Mg	۰۰۷/۰	۰۰۸/۰	۰۰۵/۰	۰۰۵/۰	۰۰۴/۰	۰۰۷/۰	۰۰۷/۰	۰۰۸/۰	۰۰۷/۰	۰۰۷/۰	۰۰۷/۰	۰۰۹/۰	۰۰۸/۰
Ca	۶۳۸/۰	۶۴/۰	۴۷۹/۰	۶۱۳/۰	۵۸۶/۰	۶۴۴/۰	۶۴۷/۰	۶۴۲/۰	۶۵/۰	۶۵۴/۰	۶۴۶/۰	۶۵۵/۰	۶۵۱/۰
Na	۳۵۱/۰	۳۴۲/۰	۴۸۶/۰	۳۶۹/۰	۳۹۸/۰	۳۴/۰	۳۲۴/۰	۳۶۷/۰	۳۵/۰	۳۵/۰	۳۵۲/۰	۳۴۱/۰	۳۵۳/۰
K	۰۱۲/۰	۰۱۳/۰	۰۲۱/۰	۰۱۴/۰	۰۱۶/۰	۰۱/۰	۰۱۳/۰	۰۱۵/۰	۰۱۴/۰	۰۱۴/۰	۰۱۵/۰	۰۱۴/۰	۰۱۳/۰
Ni	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰
Total	۰۱۲/۵	۰۱۲/۵	۰۰۴/۵	۰۰۹/۵	۰۱۴/۵	۰۱۴/۵	۰۰۳/۵	۰۲۳/۵	۰۲۴/۵	۰۲۱/۵	۰۱۸/۵	۰۱۶/۵	۰۲۵/۵

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه ترکیب شیمیایی (EPMA) کانی الیوین در نمونه‌های الیوین‌گابرویی جنوب آزادشهر.

SAMPLE	Q-12-1	Q-12-2	Q-12-3	Q-12-4	Q-12-5	Q-12-6	Q-12-7	Q-12-8	Q-14-1	Q-14-2	Q-14-3
SiO_2	۰۷/۳۹	۱۲/۳۹	۳۱/۳۹	۰۱/۴۰	۹۷/۳۸	۰۲/۳۹	۹۴/۳۸	۹۷/۳۸	۳۲/۳۸	۴۴/۳۵	۶۸/۳۹
TiO_2	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰
Al_2O_3	۰۴/۰	۰۵/۰	۰۵/۰	۰۵/۰	۰۸/۰	۰۲/۰	۰۴/۰	۰۸/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۵/۰
Cr_2O_3	۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰	۰۵/۰
FeO*	۸/۱۸	۴۶/۱۸	۷۲/۱۸	۰۲/۱۳	۷۵/۱۷	۰۱/۱۹	۰۶/۱۸	۷۵/۱۷	۹۹/۲۲	۲۲/۲۳	۵۵/۱۲
MnO	۲۳/۰	۱۵/۰	۲۳/۰	۱۴/۰	۲۱/۰	۲۳/۰	۱۹/۰	۲۱/۰	۳/۰	۲۲/۰	۱۵/۰
MgO	۹۲/۴۱	۶۴/۴۱	۷۵/۴۱	۹/۴۵	۱۳/۴۲	۰۴/۴۱	۲۱/۴۲	۱۳/۴۲	۶۳/۳۷	۴۱/۳۸	۶۴/۴۶
CaO	۱۶/۰	۱۷/۰	۱۵/۰	۲۲/۰	۲۲/۰	۱۹/۰	۲/۰	۲۲/۰	۱۸/۰	۲/۰	۲/۰
Na_2O	۰۱/۰	۰۲/۰	۰	۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰	۰
K_2O	۰	۰	۰	۰	۰	۰۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰
NiO	۲۷/۰	۲۹/۰	۲۶/۰	۴/۰	۳۲/۰	۲۶/۰	۲۳/۰	۳۲/۰	۲۶/۰	۲۷/۰	۴۶/۰
Total	۶۱/۹۹	۹۲/۹۹	۵۱/۱۰۰	۸/۹۹	۷۳/۹۹	۸۲/۹۹	۹/۹۹	۷۳/۹۹	۶۱/۹۹	۸/۹۷	۷۸/۹۹
Fo	۹/۷۹	۰۸/۸۰	۹/۷۹	۲۷/۸۶	۸۸/۸۰	۳۸/۷۹	۶۴/۸۰	۸۸/۸۰	۴۷/۷۴	۶۸/۷۴	۸۸/۸۶
O	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Si	۹۹۵/۰	۱	۱	۹۹۹/۰	۹۹۶/۰	۰۰۲/۱	۹۹۵/۰	۹۹۶/۰	۰۰۴/۱	۹۵۶/۰	۹۹/۰
Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰
Al	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۲/۰	۰۰۱/۰	۰۰۲/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۲/۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۲/۰
Cr	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰
Fe*	۴/۰	۳۹۵/۰	۳۹۸/۰	۲۷۲/۰	۳۷۹/۰	۴۰۸/۰	۳۸۶/۰	۳۷۹/۰	۵۰۴/۰	۵۲۴/۰	۲۶۲/۰
Mn	۰۰۵/۰	۰۰۳/۰	۰۰۵/۰	۰۰۳/۰	۰۰۴/۰	۰۰۵/۰	۰۰۴/۰	۰۰۴/۰	۰۰۷/۰	۰۰۵/۰	۰۰۳/۰
Mg	۵۹۲/۱	۵۸۷/۱	۵۸۳/۱	۷۰۹/۱	۶۰۶/۱	۵۷۱/۱	۶۰۸/۱	۶۰۶/۱	۴۶۹/۱	۵۴۵/۱	۷۳۶/۱
Ca	۰۰۴/۰	۰۰۵/۰	۰۰۴/۰	۰۰۶/۰	۰۰۶/۰	۰۰۵/۰	۰۰۵/۰	۰۰۶/۰	۰۰۵/۰	۰۰۶/۰	۰۰۵/۰
Na	۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰۰۶/۰	۰۰۶/۰	۰۰۵/۰	۰۰۸/۰	۰۰۷/۰	۰۰۵/۰	۰۰۵/۰	۰۰۷/۰	۰۰۵/۰	۰۰۶/۰	۰۰۹/۰
Total	۰۰۴/۳	۹۹۹/۲	۹۹۹/۲	۳	۰۰۳/۳	۹۹۸/۲	۰۰۴/۳	۰۰۳/۳	۹۹۶/۲	۰۴۳/۳	۰۰۸/۳

ادامه جدول ۳

SAMPLE	Q-14-4	Q-14-5	Q-14-6	Q-15-1	Q-15-2	Q-15-3	Q-15-4	Q-15-5	Q-15-6	Q-15-7
SiO_2	۶۱/۳۹	۵۱/۳۹	۷۷/۳۸	۸۹/۳۸	۵۶/۳۸	۲۴/۳۸	۷۱/۳۸	۰۴/۳۸	۱۵/۳۸	۷۳/۳۸
TiO_2	۰۱/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰
Al_2O_3	۰۵/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۶/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۲/۰
Cr_2O_3	۰۵/۰	۰۴/۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰	۰۳/۰	۰۴/۰	۰	۰۳/۰
FeO*	۳۴/۱۳	۴۴/۱۴	۷۸/۱۷	۹۵/۱۹	۱۸/۲۲	۳۷/۲۳	۹۶/۲۱	۲/۲۴	۵۵/۲۳	۱۸/۲۳
MnO	۱۵/۰	۱۹/۰	۲۵/۰	۲۶/۰	۲۴/۰	۳۴/۰	۳/۰	۳۶/۰	۲۹/۰	۳۳/۰
MgO	۴۹/۴۵	۸۷/۴۴	۷۷/۴۱	۲۱/۴۰	۶۷/۳۸	۶۱/۳۷	۶۵/۳۸	۳۷	۴۵/۳۸	۴۴/۳۷
CaO	۱۵/۰	۲۴/۰	۱۹/۰	۲۲/۰	۲۳/۰	۲۴/۰	۲۵/۰	۲۷/۰	۲۵/۰	۲۶/۰
Na_2O	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۱/۰
K_2O	۰۱/۰	۰۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
NiO	۴۴/۰	۳۸/۰	۳۲/۰	۲۷/۰	۲/۰	۱۶/۰	۲۳/۰	۱۶/۰	۱۴/۰	۱۴/۰
Total	۳۳/۹۹	۷۶/۹۹	۲۱/۹۹	۶۱/۹۹	۱۶/۱۰۰	۱۰۰	۲۴/۱۰۰	۱۴/۱۰۰	۸۸/۱۰۰	۱۵/۱۰۰
Fo	۸۷/۸۵	۷۱/۸۴	۷۳/۸۰	۲۲/۷۸	۶۶/۷۵	۱۵/۷۴	۸۳/۷۵	۱۵/۷۳	۴۳/۷۴	۲۲/۷۴
O	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Si	۹۹۶/۰	۹۹۵/۰	۹۹۷/۰	۰۰۲/۱	۰۰۱/۱	۰۰۱/۱	۰۰۴/۱	۹۹۹/۰	۹۹۱/۰	۰۱/۱
Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Al	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۲/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰
Cr	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰
Fe*	۲۸۱/۰	۳۰۴/۰	۳۸۲/۰	۴۳/۰	۴۸۲/۰	۵۱۱/۰	۴۷۶/۰	۵۳۱/۰	۵۱۱/۰	۵۰۵/۰
Mn	۰۰۳/۰	۰۰۴/۰	۰۰۵/۰	۰۰۶/۰	۰۰۵/۰	۰۰۸/۰	۰۰۷/۰	۰۰۸/۰	۰۰۶/۰	۰۰۷/۰
Mg	۷۰۶/۱	۶۸۴/۱	۶۰۲/۱	۵۴۵/۱	۴۹۷/۱	۴۶۷/۱	۴۹۴/۱	۴۴۸/۱	۴۸۹/۱	۴۵۵/۱
Ca	۰۰۴/۰	۰۰۷/۰	۰۰۵/۰	۰۰۶/۰	۰۰۶/۰	۰۰۷/۰	۰۰۷/۰	۰۰۷/۰	۰۰۷/۰	۰۰۷/۰
Na	۰۰۱/۰	۰۰۲/۰	۰۰۲/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰۰۹/۰	۰۰۸/۰	۰۰۷/۰	۰۰۶/۰	۰۰۴/۰	۰۰۳/۰	۰۰۵/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰
Total	۰۰۳/۳	۰۰۵/۳	۰۰۲/۳	۹۹۷/۲	۹۹۸/۲	۹۹۹/۲	۹۹۶/۲	۰۰۱/۳	۰۰۹/۳	۹۹/۲

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

جدول ۴ نتایج تجزیه ترکیب شیمیایی کانی پیروکسن در نمونه‌های الیوین‌گابرویی جنوب آزادشهر به روش EPMA.

SAMPLE	Q-14-1	Q-14-2	Q-14-3	Q-14-4	Q-14-5	Q-14-6	Q-14-7	Q-14-8	Q-14-9
SiO_2	۷۵/۴۸	۶/۵۰	۱/۵۱	۰۱/۴۷	۸۸/۴۶	۰۸/۴۸	۵۷/۴۷	۶۸/۴۸	۸۶/۴۶
TiO_2	۴۱/۱	۱/۱	۹۵/۰	۰۶/۲	۱۷/۲	۵۴/۱	۸۷/۱	۴۹/۱	۱۶/۲
$Al2O_3$	۶۶/۵	۷۳/۳	۲۶/۳	۶۷/۶	۸۴/۶	۶۹/۵	۴۵/۶	۸۵/۵	۰۹/۷
Cr_2O_3	۹۲/۰	۲۹/۰	۵۳/۰	۴۹/۰	۴۷/۰	۷۷/۰	۵۵/۰	۸۴/۰	۴۵/۰
FeO*	۸/۶	۴/۷	۷۱/۶	۴۳/۷	۵/۷	۶/۶	۴۹/۷	۷۶/۶	۷۳/۷
MnO	۱۹/۰	۲/۰	۱۶/۰	۰۸/۰	۱۳/۰	۱۴/۰	۱۳/۰	۱۱/۰	۱/۰
NiO	۰۳/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۰۵/۰	۰
MgO	۳۳/۱۴	۶۱/۱۵	۹۹/۱۵	۳۲/۱۳	۳۲/۱۳	۳/۱۴	۶۸/۱۳	۳۹/۱۴	۳۸/۱۳
CaO	۳۹/۲۰	۶۷/۱۹	۲/۲۰	۷۲/۲۰	۴۹/۲۰	۴۹/۲۰	۴۲/۲۰	۰۳/۲۰	۳/۲۰
Na_2O	۴۹/۰	۴۳/۰	۴۳/۰	۵۳/۰	۵۵/۰	۵۵/۰	۵۳/۰	۵/۰	۵۷/۰
K_2O	۰	۰	۰	۰۱/۰	۰۱/۰	۰۲/۰	۰	۰	۰۱/۰
Total	۹۴/۹۸	۰۴/۹۹	۳۵/۹۹	۳۴/۹۸	۳۹/۹۸	۲۲/۹۸	۷۲/۹۸	۷۱/۹۸	۶۵/۹۸
Mg#	۷۹/۰	۷۹/۰	۸۱/۰	۷۶/۰	۷۶/۰	۷۹/۰	۷۶/۰	۷۹/۰	۷۶/۰
Cr#	۱/۰	۰۵/۰	۱/۰	۰۵/۰	۰۴/۰	۰۸/۰	۰۵/۰	۰۹/۰	۰۴/۰
En	۴۴/۰	۴۶/۰	۴۷/۰	۴۱/۰	۴۱/۰	۴۴/۰	۴۲/۰	۴۴/۰	۴۱/۰
Fs	۱۲/۰	۱۲/۰	۱۱/۰	۱۳/۰	۱۳/۰	۱۱/۰	۱۳/۰	۱۲/۰	۱۳/۰
Wo	۴۵/۰	۴۲/۰	۴۲/۰	۴۶/۰	۴۶/۰	۴۵/۰	۴۵/۰	۴۴/۰	۴۵/۰
O	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۸۲۵/۱	۸۸۶/۱	۸۹۶/۱	۷۸۱/۱	۷۷۵/۱	۸۱۵/۱	۷۹۳/۱	۸۲۴/۱	۷۷/۱
Ti	۰۴/۰	۰۳۱/۰	۰۲۷/۰	۰۵۹/۰	۰۶۲/۰	۰۴۴/۰	۰۵۳/۰	۰۴۲/۰	۰۶۱/۰
AlIV	۱۷۵/۰	۱۱۳/۰	۱۰۴/۰	۲۱۹/۰	۲۲۵/۰	۱۸۵/۰	۲۰۷/۰	۱۷۶/۰	۲۳/۰
AlVI	۰۷۵/۰	۰۵۱/۰	۰۳۹/۰	۰۷۹/۰	۰۸۱/۰	۰۶۸/۰	۰۷۹/۰	۰۸۲/۰	۰۸۵/۰
Cr	۰۲۷/۰	۰۰۸/۰	۰۱۶/۰	۰۱۵/۰	۰۱۴/۰	۰۲۳/۰	۰۱۶/۰	۰۲۵/۰	۰۱۴/۰
Fe*	۲۱۳/۰	۲۳۱/۰	۲۰۸/۰	۲۳۵/۰	۲۳۷/۰	۲۰۸/۰	۲۳۶/۰	۲۱۲/۰	۲۴۴/۰
Mn	۰۰۶/۰	۰۰۶/۰	۰۰۵/۰	۰۰۲/۰	۰۰۴/۰	۰۰۴/۰	۰۰۴/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰
Mg	۸/۰	۸۶۸/۰	۸۸۴/۰	۷۵۲/۰	۷۵۲/۰	۸۰۵/۰	۷۶۸/۰	۸۰۴/۰	۷۵۳/۰
Ca	۸۱۸/۰	۷۸۶/۰	۸۰۳/۰	۸۴۱/۰	۸۳۱/۰	۸۲۹/۰	۸۲۴/۰	۸۰۴/۰	۸۲۲/۰
Na	۰۳۵/۰	۰۳۱/۰	۰۳۱/۰	۰۳۹/۰	۰۴۱/۰	۰۴/۰	۰۳۹/۰	۰۳۶/۰	۰۴۲/۰
K	۰	۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰	۰
Ni	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۲/۰	۰
Total	۰۱۴/۴	۰۱۱/۴	۰۱۳/۴	۰۲۳/۴	۰۲۳/۴	۰۲۳/۴	۰۲۱/۴	۰۱/۴	۰۲۴/۴

ادامه جدول ۴

SAMPLE	Q-12-1	Q-12-2	Q-15-1	Q-15-2	Q-15-3	Q-15-4	Q-15-5	Q-15-6
SiO_2	۷۹/۴۸	۰۴/۴۹	۹۸/۴۶	۵۳/۴۸	۲۲/۵۰	۷۹/۴۹	۴۲/۵۰	۵۳/۵۰
TiO_2	۷/۱	۴۵/۱	۳/۲	۷۹/۱	۳۶/۱	۴/۱	۲۵/۱	۰۹/۱
$Al2O_3$	۴۵/۵	۹۶/۴	۶۵/۶	۶۷/۵	۶۲/۳	۲۴/۴	۷۹/۳	۳/۳
Cr_2O_3	۵۳/۰	۶۱/۰	۴۷/۰	۶۴/۰	۰۵/۰	۱۹/۰	۲۹/۰	۳۸/۰
FeO*	۵۱/۷	۲۱/۷	۹۲/۷	۱۹/۷	۵۹/۷	۳۴/۷	۰۳/۷	۶۱/۶
MnO	۱۲/۰	۱۲/۰	۱/۰	۱۴/۰	۱۵/۰	۱۵/۰	۱/۰	۱/۰
NiO	۰۲/۰	۰۱/۰	۰۵/۰	۰۳/۰	۰۱/۰	۰۵/۰	۰۳/۰	۰۲/۰
MgO	۶۹/۱۴	۶/۱۴	۰۲/۱۳	۹۴/۱۳	۶۸/۱۴	۴۵/۱۴	۷۷/۱۴	۲۸/۱۵
CaO	۱۳/۲۰	۴۹/۲۰	۵۹/۲۱	۷۵/۲۱	۶۶/۲۱	۵۸/۲۱	۵۳/۲۱	۷۳/۲۱
Na_2O	۳۷/۰	۳۶/۰	۴۴/۰	۴/۰	۴۲/۰	۴۳/۰	۳۶/۰	۳۸/۰
K_2O	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۱/۰	۰
Total	۳/۹۹	۸۶/۹۸	۵۲/۹۹	۰۶/۱۰۰	۷۵/۹۹	۶/۹۹	۵۵/۹۹	۴۲/۹۹
Mg#	۷۸/۰	۷۸/۰	۷۵/۰	۷۸/۰	۷۸/۰	۷۸/۰	۷۹/۰	۸/۰
Cr#	۰۶/۰	۰۸/۰	۰۵/۰	۰۷/۰	۰۱/۰	۰۳/۰	۰۵/۰	۰۷/۰
En	۴۴/۰	۴۴/۰	۳۹/۰	۴۱/۰	۴۳/۰	۴۲/۰	۴۳/۰	۴۴/۰
Fs	۱۳/۰	۱۲/۰	۱۳/۰	۱۲/۰	۱۲/۰	۱۲/۰	۱۲/۰	۱۱/۰
Wo	۴۳/۰	۴۴/۰	۴۷/۰	۴۷/۰	۴۵/۰	۴۶/۰	۴۵/۰	۴۵/۰
O	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۸۲۲/۱	۸۳۹/۱	۷۶۸/۱	۸۰۷/۱	۸۷۲/۱	۸۵۸/۱	۸۷۷/۱	۸۸۲/۱
Ti	۰۴۸/۰	۰۴۱/۰	۰۶۵/۰	۰۵/۰	۰۳۸/۰	۰۳۹/۰	۰۳۵/۰	۰۳۱/۰
AlIV	۱۷۷/۰	۱۶۱/۰	۲۳۲/۰	۱۹۳/۰	۱۲۸/۰	۱۴۲/۰	۱۲۳/۰	۱۱۸/۰
AlVI	۰۶۳/۰	۰۵۹/۰	۰۶۳/۰	۰۵۶/۰	۰۳۲/۰	۰۴۵/۰	۰۴۳/۰	۰۲۸/۰
Cr	۰۱۶/۰	۰۱۸/۰	۰۱۴/۰	۰۱۹/۰	۰۰۱/۰	۰۰۶/۰	۰۰۸/۰	۰۱۱/۰
Fe*	۲۳۵/۰	۲۲۶/۰	۲۴۹/۰	۲۲۴/۰	۲۳۷/۰	۲۲۹/۰	۲۱۹/۰	۲۰۶/۰
Mn	۰۰۴/۰	۰۰۴/۰	۰۰۳/۰	۰۰۴/۰	۰۰۵/۰	۰۰۵/۰	۰۰۳/۰	۰۰۳/۰
Mg	۸۱۸/۰	۸۱۶/۰	۷۳/۰	۷۷۳/۰	۸۱۶/۰	۸۰۴/۰	۸۲/۰	۸۴۹/۰
Ca	۸۰۵/۰	۸۲۳/۰	۸۷/۰	۸۶۷/۰	۸۶۵/۰	۸۶۳/۰	۸۵۹/۰	۸۶۷/۰
Na	۰۲۶/۰	۰۲۶/۰	۰۳۲/۰	۰۲۹/۰	۰۳۱/۰	۰۳۱/۰	۰۲۶/۰	۰۲۸/۰
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰	۰۰۱/۰	۰۰۱/۰	۰
Total	۰۱۴/۴	۰۱۳/۴	۰۲۸/۴	۰۲۳/۴	۰۲۴/۴	۰۲۲/۴	۰۱۳/۴	۰۲۲/۴

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

جدول ۵ نتایج تجزیه ترکیب شیمیایی کانی آمفیبول در دیوریت‌های قلیایی جنوب آزادشهر به روش EPMA.

SAMP	Q-5-1	Q-5-2	Q-5-3	Q-5-4	Q-5-5	Q-7-1	Q-7-2	Q-7-3	Q-7-4	Q-7-5	Q-7-6	Q-7-7
SiO_2	۲۹٫۳۹	۹۳٫۳۸	۱۱٫۳۹	۱۲٫۴۰	۱۹٫۴۰	۶۲٫۳۹	۶۲٫۳۹	۵۹٫۳۹	۲۶٫۳۹	۳۵٫۳۹	۹٫۴۰	۱۲٫۴۰
TiO_2	۵۹٫۵	۱۷٫۶	۲۵٫۶	۴۹٫۱	۳۵٫۱	۷۹٫۴	۲۱٫۵	۲۶٫۵	۵۱٫۵	۵۱٫۵	۵۹٫۴	۲۶٫۴
Al_2O_3	۵۳٫۱۳	۷۲٫۱۳	۹۳٫۱۳	۰۴٫۱۲	۹۲٫۱۱	۳۷٫۱۳	۵۲٫۱۳	۳۸٫۱۳	۷۵٫۱۳	۷۱٫۱۳	۱۶٫۱۳	۹۵٫۱۲
Cr_2O_3	۰۵٫۰	۰۵٫۰	۱۵٫۰	۰۴٫۰	۰۶٫۰	۰۶٫۰	۰۶٫۰	۰۶٫۰	۰۶٫۰	۰۴٫۰	۰۷٫۰	۰۶٫۰
FeO*	۶۲٫۱۰	۰۶٫۱۰	۰۱٫۱۰	۷۵٫۱۶	۹۴٫۱۶	۲۱٫۱۱	۷۳٫۱۰	۸۹٫۱۰	۰۲٫۱۱	۷۷٫۱۰	۲۴٫۱۲	۲۷٫۱۲
MnO	۱۲٫۰	۱٫۰	۱۱٫۰	۲۹٫۰	۳٫۰	۱٫۰	۱۲٫۰	۱۲٫۰	۱۱٫۰	۱۴٫۰	۱۵٫۰	۱۴٫۰
NiO												
MgO	۱۳٫۱۲	۴۳٫۱۲	۶۳٫۱۲	۳۸٫۱۰	۳۳٫۱۰	۵۱٫۱۲	۵۴٫۱۲	۴۳٫۱۲	۴۴٫۱۲	۳۴٫۱۲	۸۴٫۱۱	۰۱٫۱۲
CaO	۸۳٫۱۱	۰۵٫۱۲	۱۱٫۱۲	۳۱٫۱۱	۳۸٫۱۱	۴۸٫۱۱	۵۳٫۱۱	۵۹٫۱۱	۶٫۱۱	۶۲٫۱۱	۵٫۱۱	۳۹٫۱۱
Na_2O	۶۹٫۲	۴۱٫۲	۵٫۲	۹۱٫۲	۸۹٫۲	۶۱٫۲	۵٫۲	۴۵٫۲	۳۸٫۲	۴۵٫۲	۶۳٫۲	۶۲٫۲
K_2O	۰۵٫۱	۰۴٫۱	۰۷٫۱	۵۲٫۱	۵۲٫۱	۰۱٫۱	۰۴٫۱	۰۳٫۱	۰۳٫۱	۰۳٫۱	۰۸٫۱	۰۷٫۱
Total	۹٫۹۶	۹۸٫۹۶	۸۶٫۹۷	۸۴٫۹۶	۸۸٫۹۶	۷۷٫۹۶	۸۶٫۹۶	۷۹٫۹۶	۱۸٫۹۷	۹۶٫۹۶	۱۸٫۹۸	۸۹٫۹۶
Mg#	۶۷٫۰	۶۹٫۰	۶۹٫۰	۵۲٫۰	۵۲٫۰	۶۷٫۰	۶۸٫۰	۶۷٫۰	۶۷٫۰	۶۷٫۰	۶۳٫۰	۶۴٫۰
O	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
Si	۶۱٫۵	۵۴٫۵	۵۲٫۵	۹۱٫۵	۹۲٫۵	۶۷٫۵	۶۵٫۵	۶۵٫۵	۵۹٫۵	۶۱٫۵	۷۸٫۵	۷۵٫۵
Ti	۶٫۰	۶۶٫۰	۶۶٫۰	۱۷٫۰	۱۵٫۰	۵۲٫۰	۵۶٫۰	۵۶٫۰	۵۹٫۰	۵۹٫۰	۴۹٫۰	۴۶٫۰
Al (iv)	۲۸٫۲	۳۱٫۲	۳۵٫۲	۰۳٫۲	۰۱٫۲	۲۵٫۲	۲۸٫۲	۲۵٫۲	۳۱٫۲	۳۱٫۲	۱۶٫۲	۱۸٫۲
Al (vi)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۶٫۰	۰
Cr	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۲٫۰	۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰
Fe*	۲۷٫۱	۲٫۱	۱۸٫۱	۰۶٫۲	۰۹٫۲	۳۴٫۱	۲۸٫۱	۳٫۱	۳۱٫۱	۲۸٫۱	۴۵٫۱	۴۷٫۱
Mn	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۴٫۰	۰۴٫۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۱٫۰	۰۲٫۰	۰۲٫۰	۰۲٫۰
Mg	۵۸٫۲	۶۴٫۲	۶۶٫۲	۲۸٫۲	۲۷٫۲	۶۷٫۲	۶۶٫۲	۶۵٫۲	۶۴٫۲	۶۲٫۲	۴۹٫۲	۵۷٫۲
Ca	۸۱٫۱	۸۴٫۱	۸۳٫۱	۷۸٫۱	۸٫۱	۷۶٫۱	۷۶٫۱	۷۷٫۱	۷۷٫۱	۷۷٫۱	۷۴٫۱	۷۵٫۱
Na	۷۴٫۰	۶۷٫۰	۶۸٫۰	۸۳٫۰	۸۳٫۰	۷۲٫۰	۶۹٫۰	۶۸٫۰	۶۶٫۰	۶۸٫۰	۷۲٫۰	۷۳٫۰
K	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۲۹٫۰	۲۹٫۰	۱۸٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۲٫۰	۲٫۰
Total	۱٫۱۵	۰۶٫۱۵	۰۸٫۱۵	۴۴٫۱۵	۴۵٫۱۵	۱۳٫۱۵	۰۸٫۱۵	۰۸٫۱۵	۰۷٫۱۵	۰۷٫۱۵	۰۸٫۱۵	۱۴٫۱۵

ادامه جدول ۵

SAMP	Q-7-8	Q-7-9	Q-7-10	Q-7-11	Q-7-12	Q-7-13	Q-7-14	Q-7-15	Q-7-16	Q-7-17	Q-7-18	Q-7-19
SiO_2	۶۸٫۳۹	۲۱٫۳۹	۸۲٫۳۹	۰۹٫۴۰	۵۱٫۳۹	۰۶٫۴۰	۲۴٫۳۹	۱۱٫۳۹	۶۵٫۳۸	۱۳٫۳۹	۱۲٫۳۹	۲۵٫۳۹
TiO_2	۱۶٫۵	۵۵٫۵	۴۳٫۴	۵۸٫۳	۹۶٫۴	۲٫۴	۷۶٫۴	۹۷٫۴	۰۳٫۵	۰۲٫۵	۰۴٫۵	۰۲٫۵
Al_2O_3	۴۳٫۱۳	۳۷٫۱۳	۲۱٫۱۳	۸۷٫۱۲	۵۵٫۱۳	۹۱٫۱۲	۴۶٫۱۳	۵۵٫۱۳	۳۶٫۱۳	۵۷٫۱۳	۳۹٫۱۳	۴۴٫۱۳
Cr_2O_3	۰۴٫۰	۰۷٫۰	۰۴٫۰	۰۵٫۰	۰۳٫۰	۰۴٫۰	۰۲٫۰	۰۲٫۰	۰۶٫۰	۰۴٫۰	۰۴٫۰	۰۵٫۰
FeO*	۲۳٫۱۱	۵۹٫۱۰	۸۸٫۱۱	۲۷٫۱۳	۷۵٫۱۱	۴۲٫۱۲	۸۴٫۱۱	۶۶٫۱۱	۳۱٫۱۲	۶۷٫۱۱	۶۶٫۱۱	۵۹٫۱۱
MnO	۱۸٫۰	۱۱٫۰	۱۳٫۰	۲۱٫۰	۱۷٫۰	۱۸٫۰	۱۹٫۰	۱۲٫۰	۱۲٫۰	۱۵٫۰	۱۴٫۰	۰۷٫۰
NiO												
MgO	۴۸٫۱۲	۳۹٫۱۲	۸۹٫۱۱	۱۹٫۱۲	۴۲٫۱۲	۹۵٫۱۱	۹۴٫۱۱	۲۴٫۱۲	۸۷٫۱۱	۳۲٫۱۲	۱۳٫۱۲	۱۶٫۱۲
CaO	۵۹،۱۱	۷۴٫۱۱	۲۸٫۱۱	۱۱٫۱۱	۴۴٫۱۱	۳۴٫۱۱	۴٫۱۱	۴۴٫۱۱	۴۸٫۱۱	۴۳٫۱۱	۴۹٫۱۱	۳۷٫۱۱
Na_2O	۵۲٫۲	۴۴٫۲	۸۴٫۲	۶۵٫۲	۵۲٫۲	۶۴٫۲	۵۵٫۲	۴۹٫۲	۴۶٫۲	۵۸٫۲	۵۳٫۲	۵۷٫۲
K_2O	۰۳٫۱	۰۴٫۱	۰۲٫۱	۰۵٫۱	۰۴٫۱	۰۲٫۱	۰۵٫۱	۱	۰۲٫۱	۰۴٫۱	۰۲٫۱	۱
Total	۳۳٫۹۷	۵۲٫۹۶	۵۴٫۹۶	۰۶٫۹۷	۴٫۹۷	۷۶٫۹۶	۴۶٫۹۶	۶۱٫۹۶	۳۶٫۹۶	۹۴٫۹۶	۵۶٫۹۶	۵۱٫۹۶
Mg#	۶۶٫۰	۶۸٫۰	۶۴٫۰	۶۲٫۰	۶۵٫۰	۶۳٫۰	۶۴٫۰	۶۵٫۰	۶۳٫۰	۶۵٫۰	۶۵٫۰	۶۵٫۰
O	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
Si	۶۴٫۵	۶۲٫۵	۷۲٫۵	۷۶٫۵	۶۳٫۵	۷۶٫۵	۶۵٫۵	۶۲٫۵	۵۹٫۵	۶۱٫۵	۶۳٫۵	۶۴٫۵
Ti	۵۵٫۰	۶٫۰	۴۸٫۰	۳۹٫۰	۵۳٫۰	۴۵٫۰	۵۲٫۰	۵۴٫۰	۵۵٫۰	۵۴٫۰	۵۵٫۰	۵۴٫۰
Al (iv)	۲۶٫۲	۲۵٫۲	۲۲٫۲	۱۷٫۲	۲۸٫۲	۱۷٫۲	۲۷٫۲	۳٫۲	۲۶٫۲	۳٫۲	۲۷٫۲	۲۸٫۲
Al (vi)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Cr	۰	۰۱٫۰	۰	۰۱٫۰	۰	۰۱٫۰	۰	۰	۰۱٫۰	۰	۰	۰۱٫۰
Fe*	۳۴٫۱	۲۷٫۱	۴۳٫۱	۶٫۱	۴٫۱	۴۹٫۱	۴۳٫۱	۴٫۱	۴۹٫۱	۴٫۱	۴٫۱	۳۹٫۱
Mn	۰۲٫۰	۰۱٫۰	۰۲٫۰	۰۳٫۰	۰۲٫۰	۰۲٫۰	۰۲٫۰	۰۲٫۰	۰۱٫۰	۰۲٫۰	۰۲٫۰	۰۱٫۰
Mg	۶۵٫۲	۶۵٫۲	۵۵٫۲	۶۱٫۲	۶۴٫۲	۵۶٫۲	۵۶٫۲	۶۲٫۲	۵۶٫۲	۶۳٫۲	۶٫۲	۶٫۲
Ca	۷۷٫۱	۸٫۱	۷۴٫۱	۷۱٫۱	۷۵٫۱	۷۵٫۱	۷۶٫۱	۷۶٫۱	۷۸٫۱	۷۵٫۱	۷۷٫۱	۷۵٫۱
Na	۶۹٫۰	۶۸٫۰	۷۹٫۰	۷۴٫۰	۷٫۰	۷۴٫۰	۷۱٫۰	۶۹٫۰	۶۹٫۰	۷۲٫۰	۷٫۰	۷۲٫۰
K	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۸٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۹٫۰	۱۸٫۰
Total	۱٫۱۵	۰۸٫۱۵	۱۶٫۱۵	۲۱٫۱۵	۱۳٫۱۵	۱۵٫۱۵	۱۳٫۱۵	۱۳٫۱۵	۱۵٫۱۵	۱۵٫۱۵	۱۳٫۱۵	۱۲٫۱۵

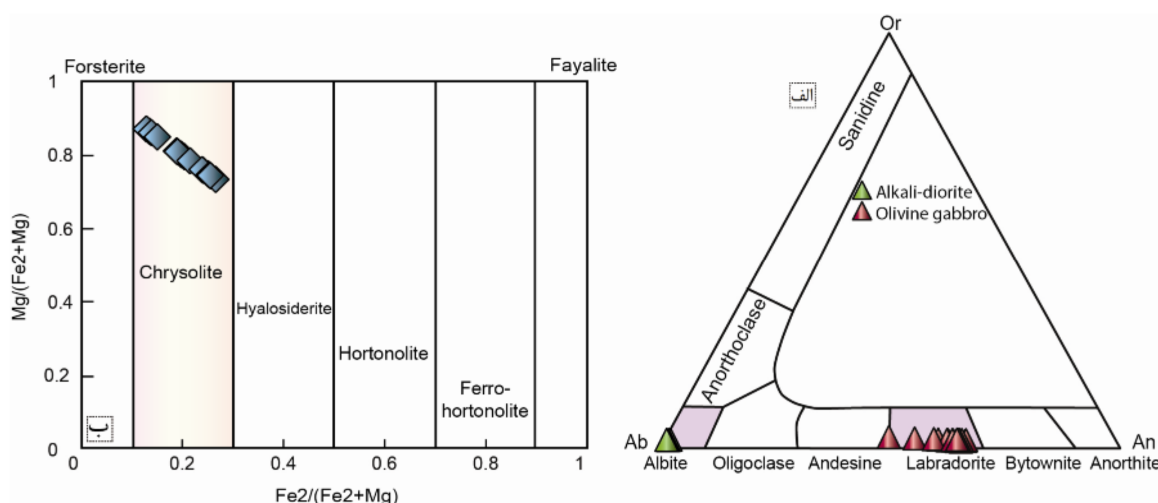
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

پلاژیوکلاز: تقریبا همه پلاژیوکلازها در نمونه‌های مورد بررسی بدون منطقه‌بندی ترکیبی هستند و تنها ماکل کارلسباد و یا چندریخت و گاهی آلبیتی نشان می‌دهند. داده‌های به دست آمده از تجزیه EPMA پلاژیوکلاز (۲۸ نقطه) در جدول ۲ نشان می‌دهند که پلاژیوکلازهای موجود در الیوین‌گابروها دارای مقدار آنورتیت ۵۵٫۳۳ تا ۶۶٫۶۳ درصد بوده و مقدار آنورتیت دیوریت‌های قلیایی نیز از ۱٫۱۱ تا ۱٫۵۴ درصد در تغییر است. از این رو، در نمودار سه‌تایی آلبیت-آنورتیت-ارتوکلاز (Ab-An-Or) برای رده‌بندی فلدسپارها [۲۶]، پلاژیوکلازهای الیوین‌گابروها در گستره لابرادوریت واقع است و ترکیب این کانی در نمونه‌های دیوریتی قلیایی با محتوای آلبیت مشخص می‌شوند (شکل ۵ الف).

الیوین: مقدار دگرسانی الیوین‌های موجود در الیوین‌گابروها بسیار ناچیز است و اغلب آنها به صورت سالم و نیمه شکل‌دار تا خودشکل هستند. در مجموع، تعداد ۲۱ نقطه از کانی الیوین برای تجزیه انتخاب شد (جدول ۳). بر اساس داده‌های تجزیه نقطه‌ای، مقدار اکسیدهای FeO و MgO در الیوین‌های الیوین‌گابروهای جنوب آزادشهر به ترتیب بین ۱۳٫۰۲ تا ۲۴٫۲۰ و ۳۷ تا ۴۶٫۶۴ درصد وزنی متغیر است و مقدار مؤلفه فورستریت نیز ۷۳٫۱۵ تا ۸۶٫۸۸ درصد محاسبه شد. از این رو، الیوین‌های مورد بررسی در نمودار رده‌بندی شیمیایی این کانی، در گستره کریزولیت قرار دارند (شکل ۵ ب).

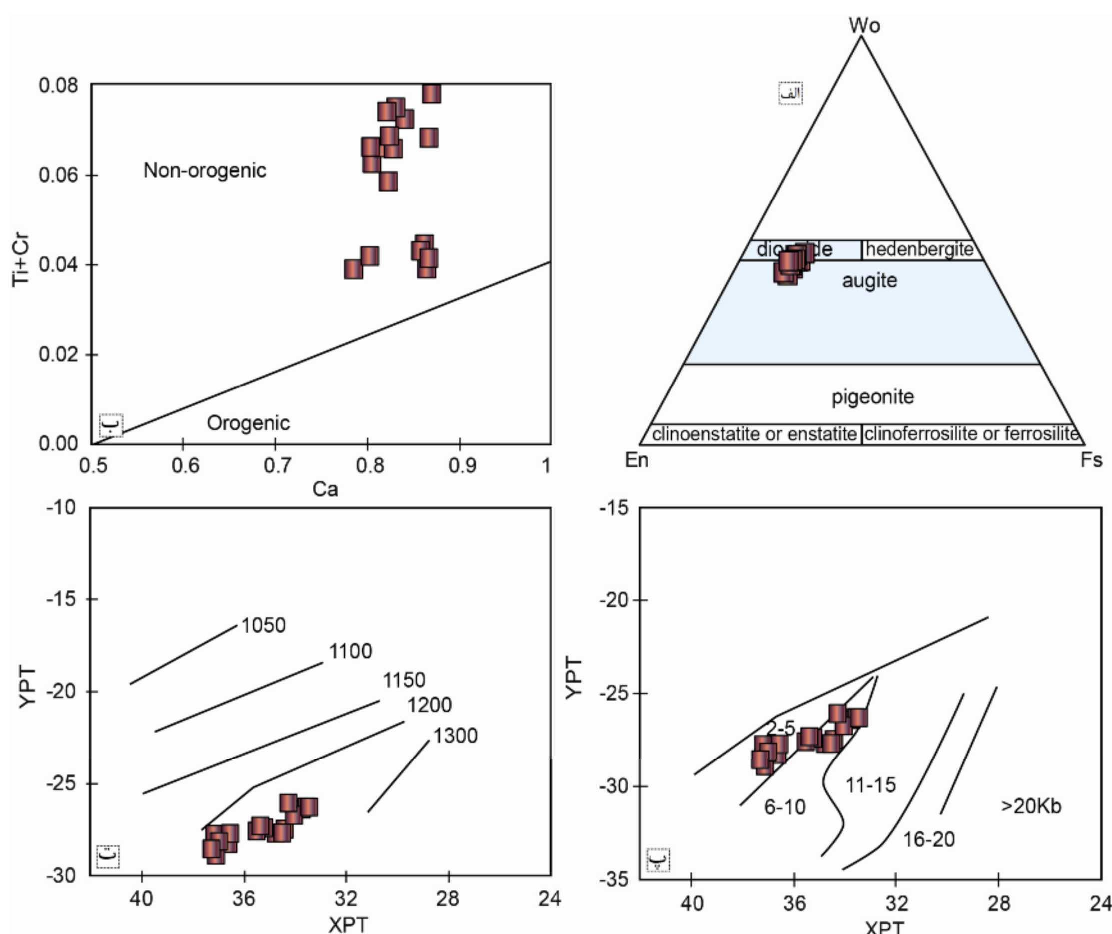
کلینوپیروکسن: محتوای شیمی کلینوپیروکسن در الیوین-گابروهای مورد بررسی در جدول ۴ آورده شده‌اند. بر پایه داده-های EPMA، مقدار اکسیدهای Ti و Cr در کلینوپیروکسن-های جنوب آزادشهر به ترتیب ۰٫۹۵ تا ۲٫۳۰ و ۰٫۱۹ تا ۰٫۹۲ درصد وزنی است. تغییرات ترکیبی کلینوپیروکسن‌ها بر اساس مقدار مؤلفه‌های $En_{(39-47)}$، $Fs_{(11-13)}$ و $Wo_{(43-47)}$ در نمودار نامگذاری سه‌تایی ولاستونیت-انستاتیت-فروآذرین لایهیت [۲۷] نشان دهنده ترکیب‌های دیوپسید و اوژیت هستند. (شکل ۶ الف). داده‌های تجزیه نقطه‌ای کانی‌های سازنده سنگ، افزون بر تعیین نوع کانی و مقدار عناصر تشکیل دهنده آنها برای رده-بندی دقیق ترکیب آن، کاربردهای دیگری مانند تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی و یا محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌ها نیز دارند. بر اساس نتایج یک پژوهش [۲۸]، ویژگی‌های سنگ-شناسی و شیمی کانی‌هایی مانند کلینوپیروکسن، به احتمال بسیار ارتباط مستقیمی با موقعیت زمین‌ساختی آنها دارد. همچنین، نامتحرک بودن Ti در کلینوپیروکسن‌ها [۲۹] موجب شده است تا از آن به عنوان ابزار تشخیصی مفید در سنگ‌زایی و تعیین ماهیت ماگمای تشکیل دهنده استفاده شود. بدیهی است که بالا بودن تمرکز این عنصر در سنگ یا کانی نشان دهنده طبیعت قلیایی و برآمدن آن از یک خاستگاه گوشته‌ای غنی شده است. مقدار تمرکز عناصر نامتحرکی مانند Ti و Cr می‌توانند نماینده ماهیت اولیه ماگما باشند [۲۸،۳۰]. چنانکه در نمودار Ti+Cr نسبت به Ca دیده می‌شود [۲۸]، به علت بالا بودن مقدار Ti، کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های جنوب آزادشهر در میدان بازالت‌های غیرکوهزایی و به عبارت دیگر درون ورقه‌ای قرار دارند (شکل ۶ ب).



شکل ۵ الف- نمودار سه تایی آلبیت-آنورتیت-ارتوکلاز برای رده‌بندی فلدسپارها در دیوریت‌های قلیایی و الیوین‌گابروهای جنوب آزادشهر [۲۶] و ب- نمودار $Mg/(Fe_2+Mg)$ نسبت به $Fe_2/(Fe_2+Mg)$ برای نامگذاری الیوین‌ها در الیوین‌گابروها.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]



شکل ۶ موقعیت کلینوپیروکسن‌ها در نمونه‌های الیوین‌گابرویی جنوب آزادشهر در نمودارهای الف- تغییرات ترکیب و رده‌بندی پیروکسن‌ها [۲۷]، ب- Ti+Cr نسبت به Ca برای تعیین ماهیت غیرکوهزایی و کوهزایی کلینوپیروکسن‌ها [۲۸]، پ- Y_{PT} نسبت به X_{PT} برای تعیین تغییرات فشار تشکیل کلینوپیروکسن‌ها [۳۱] و ت- Y_{PT} نسبت به X_{PT} برای تعیین تغییرات دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها [۳۱].

به اعتقاد سوسو [۳۱]، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن می‌تواند بازتابی از عمق و دمای تبلور سنگ میزبان آن باشد. بر این اساس و با استفاده از داده‌های تجربی، نمودارهای مفیدی برای تفکیک شرایط مختلف دما و فشار تبلور کلینوپیروکسن‌ها ارائه شده‌است. مؤلفه‌های چند متغیره این نمودارها شامل مقادیر Y_{PT} و X_{PT} هستند [۳۱] :

$$X_{PT} = 0.446SiO_2 + 0.187TiO_2 - 0.404Al_2O_3 + 0.346FeO_T + 0.052MnO + 0.309MgO + 0.431CaO - 0.446Na_2O \quad (۱)$$

$$Y_{PT} = -0.369SiO_2 + 0.535TiO_2 - 0.317Al_2O_3 + 0.323FeO_T + 0.235MnO - 0.516MgO - 0.167CaO - 0.153Na_2O \quad (۲)$$

با محاسبه و رسم مقادیر Y_{PT} و X_{PT} برای کلینوپیروکسن‌های جنوب آزادشهر، فشار و دمای تبلور این کانی‌ها به ترتیب حدود ۲ تا ۱۱ کیلوبار و ۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد برآورد می‌شود.

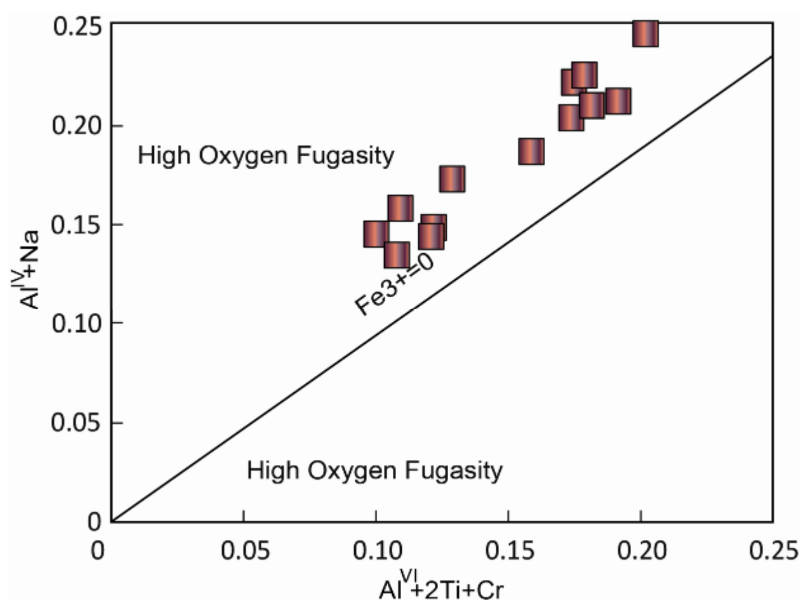
در ماگماهای مافیک، اغلب کلینوپیروکسن‌ها در فشارهای بالا (حدود ۱۰ کیلوبار) می‌توانند مانند یک فاز مذاب عمل کنند، در نتیجه شیمی آنها نیز می‌تواند بازتاب کننده شرایط تبلور سنگ باشد [۳۲-۳۴]. افزون بر شرایط دما و فشار تبلور، از دیگر کاربردهای داده‌های EPMA، دستیابی به گریزندگی اکسیژن محیط تشکیل پیروکسن است. به عقیده شوایتزر و همکاران [۳۴]، مقدار Fe^{3+} در این کانی تابع گریزندگی اکسیژن است و در نتیجه با استفاده از نمودار $Al^{IV} + Na$ نسبت به $Al^{VI}+2Ti+Cr$ می‌توان آن را بررسی کرد. براساس

شکل ۷، می‌توان گفت که به احتمال بسیار کلینوپیروکسن‌ها در شرایط گریزندگی اکسیژن بالا تشکیل شده‌اند.

آمفیبول: آمفیبول‌ها در دیوریت‌های قلیایی اغلب شکل دار هستند و تقریبا ۵۰ درصد حجم کانی‌های تشکیل دهنده سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. آمفیبول‌ها در دیوریت‌های قلیایی به صورت کانی اصلی سنگ ساز متبلور شده‌اند. به طور کلی ۲۴ نقطه از آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی مورد تجزیه قرار گرفتند. مقدار تمرکز اکسیدها و کاتیون‌های محاسبه شده در جدول ۵ آورده شده‌اند. مقدار کلسیم محاسبه شده (۱/۷۱ تا ۱/۸۴ a.p.f.u)، نشان دهنده ماهیت کلسیمی آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی بوده، در نتیجه در نمودار رده‌بندی آمفیبول‌ها برپایه مقدار Ti موجود در آنها که از پارامترهای اصلی تعیین کننده [۳۵]، نمونه‌ها در گستره‌های کرسوتیت (Kaersutite) و مگنزیوهاستینگزیت (Magnesiohastingsite) قرار دارند (شکل ۸ الف).

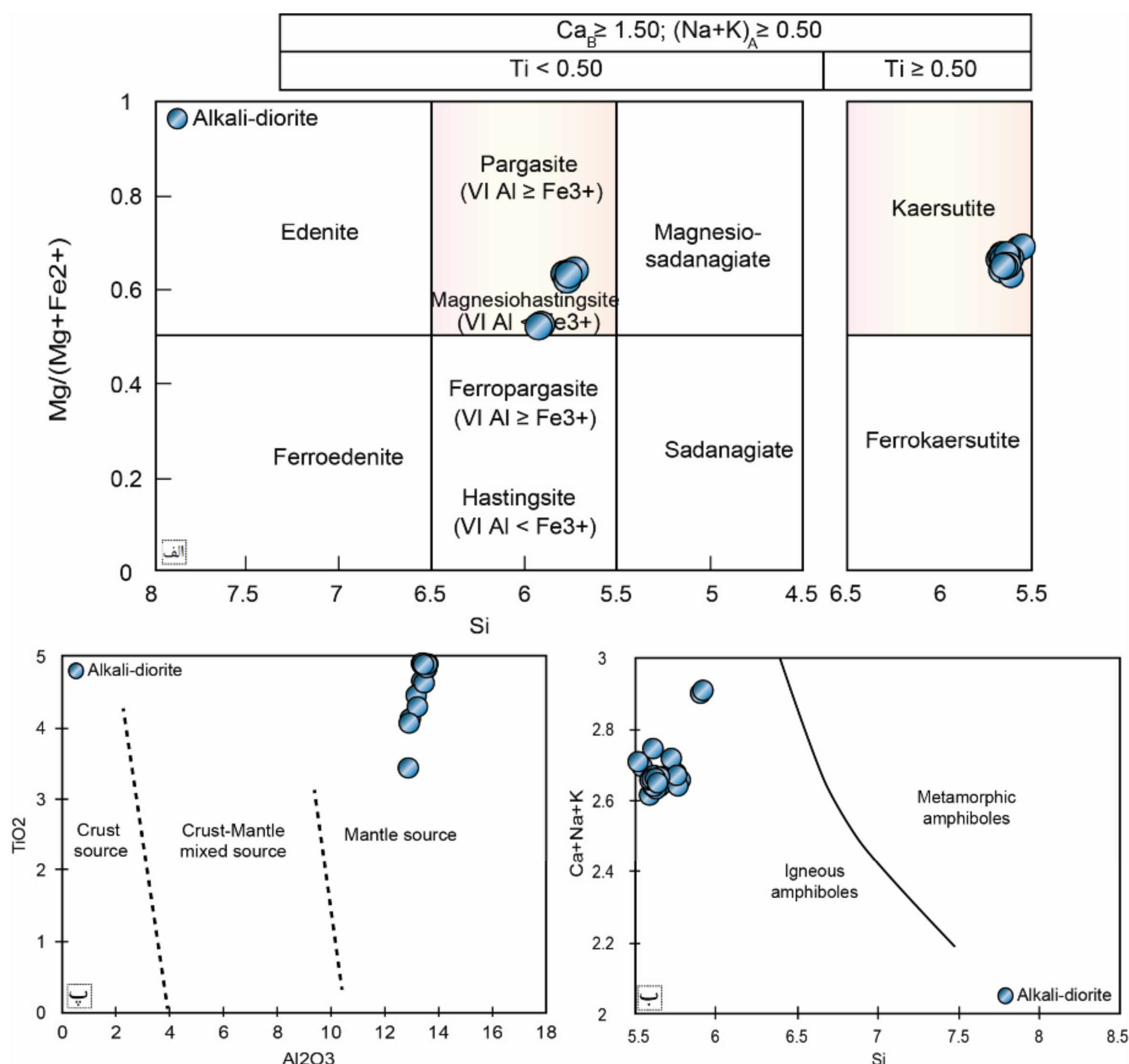
حضور آمفیبول‌های نوع کرسوتیتی در میان کانی‌های اصلی سنگ ساز دارای اهمیت ویژه‌ای در تعیین ترکیب مذاب بخشی در ناحیه خاستگاه است. همواره آمفیبول‌ها نقش مهمی به عنوان فرایند جدایش مذاب‌هایی که در قاعده پوسته انباشته می‌شوند (Underplating)، از میان پوسته صعود می‌کنند و در نواحی کششی استقرار می‌یابند، ایفا می‌کنند [۳۶]. افزون بر آمفیبول‌های ماگمایی که ناشی از تبلور مذاب هستند، برخی آمفیبول‌ها نیز نتیجه فرایندهای ثانویه و دگرسانی کانی‌های مافیک مانند کلینوپیروکسن هستند. از راه‌های تشخیص آذرین، دگرگونی و یا دگرسانی بودن آمفیبول‌ها، می‌توان به سنگ‌نگاری و نیز بررسی ترکیب شیمیایی کانی اشاره نمود. لیک [۳۷] با بررسی شیمی تعداد بیشماری از انواع آمفیبول برپایه مجموع مقادیر عناصر Ca، Na و K، آمفیبول‌های آذرین را از آمفیبول‌های دگرگونی تفکیک نمود. چنان که در نمودار تغییرات Ca+Na+K نسبت به Si [۳۷]،در شکل ۸ ب دیده می‌شود، همه آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی جنوب آزادشهر در گستره آمفیبول‌های آذرین قرار دارند.

به باور برخی از پژوهشگران [۳۸،۳۹] با استفاده از شیمی کانی‌هایی چون آمفیبول و یا بیوتیت، می‌توان به ماهیت خاستگاه سنگ پی برد. مقدار میانگین TiO_2 و Al_2O_3 در آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی به ترتیب ۴/۷۴ و ۱۳/۳۰ درصد است. از اینرو در نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 که مشخص کننده گوشته‌ای و یا پوسته‌ای بودن خاستگاه کانی آمفیبول است [۳۸]، نمونه‌های مورد بررسی در گستره سنگ-های با خاستگاه گوشته‌ای قرار دارند (شکل ۸ پ).



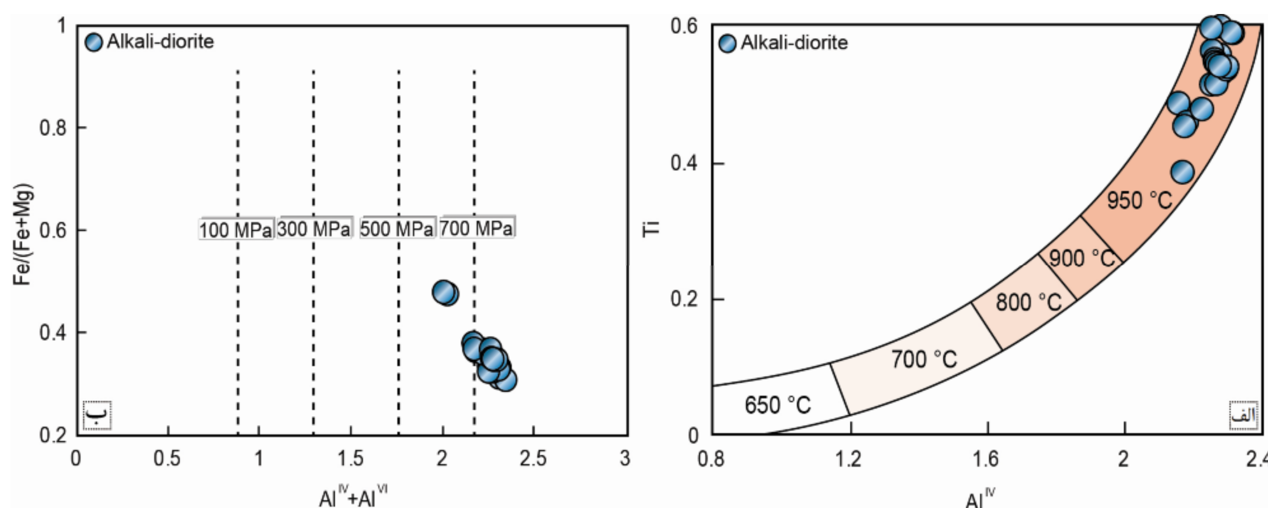
شکل ۷ موقعیت کلینوپیروکسن‌های نمونه‌های آذرین جنوب آزادشهر در نمودار تغییرات گریزندگی اکسیژن براساس Al^{IV} + Na نسبت به Al^{VI} +2Ti+Cr در پیروکسن‌ها [۳۴].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]



شکل ۸ موقعیت آمفیبول‌های نمونه‌های آذرین جنوب آزادشهر در الف- نمودار رده بندی آمفیبول‌های کلسیمی در دیوریت‌های قلیایی [۳۵]، ب- نمودار تغییرات Ca+Na+K نسبت بهSi برای تعیین آذرین و دگرگونی بودن آمفیبول‌ها [۳۷] و پ-نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 برای تعیین خاستگاه آمفیبول‌های جنوب آزادشهر [۳۸].

همانند کلینوپیروکسن‌ها، با استفاده از محتوای شیمی کانی بدست آمده از تجزیه EPMA، می‌توان دما و فشار تشکیل آمفیبول‌ها را بررسی کرد. رفتار زمین شیمیایی عنصر Al در آمفیبول‌های کلسیمی طوری است که با افزایش دما جانشین Si (جایگاه چاروجهی) و با افزایش فشار جانشین Mg+Fe (جایگاه هشت وجهی) می‌شود [۴۰-۴۲]. در نتیجه، مقدار Al_2O_3 با افزایش دما و فشار افزایش می‌یابد. این در حالی است که مقدار عنصر Ti، به علت شعاع یونی بزرگتر آن نسبت به Al که در جایگاه هشت‌وجهی جایگزین نمی‌شود، در آمفیبول‌های کلسیمی با افزایش دما افزایش یافته و با افزایش فشار کاهش می‌یابد [۴۳]. بر این اساس، با به کارگیری مقدار عناصر Ti ،Al و Fe+Mg و رسم آنها در نمودارهای دماسنجی [۴۲] و فشارسنجی [۴۴]، می‌توان دما و فشار تبلور احتمالی کانی آمفیبول در دیوریت‌های قلیایی را برآورد کرد. چنان که در شکل ۹ نیز دیده می‌شود، دمای تبلور آمفیبول‌های منطقه جنوب آزادشهر ۹۵۰ درجه سانتیگراد و فشار تشکیل آنها در گستره ۶۰۰ تا ۷۵۰ مگاپاسکال (معادل ۶ تا ۷/۵ کیلوبار) تعیین شده‌است.



شکل ۹ الف- نمودار Ti نسبت به Al^{IV} برای تعیین دمای تبلور آمفیبول‌های کلسیمی در دیوریت‌های قلیایی [۴۲] و ب- نمودار تغییرات Fe/(Fe+Mg) نسبت به $Al^{IV}+Al^{VI}$ برای تعیین فشار تبلور احتمالی آمفیبول‌ها [۴۴].

برداشت

بر اساس مشاهدات صحرایی، افزون بر بازالت‌ها و آذرین لایه-های گابرویی موجود در منطقه جنوب آزادشهر، وجود دو رخنمون متفاوت از مجموعه سنگ‌های مافیک به صورت توده-های کوچک الیوین‌گابرویی با سطوح فرسایشی به نسبت کروی شکل (پوست پیازی) و دایک‌های دیوریتی قلیایی پگماتوئیدی در توالی‌های شیل و ماسه سنگی سازند شمشک آشکار شد. کانی‌های سازنده اصلی الیوین‌گابروها شامل الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز بوده و دیوریت‌های قلیایی نیز دربردارنده آمفیبول و پلاژیوکلاز هستند. بیوتیت، آپاتیت و کانی‌های کدر نیز کانی‌های فرعی آن‌ها را تشکیل می‌دهند. زمین شیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر این نمونه‌ها به همراه نمودارهای عناصر خاکی نادر و چندعنصری نشانگر ماهیت قلیایی ماگمای سازنده آنها و برخاستن این ماگما از یک خاستگاه گوشته‌ای مشابه خاستگاه نوع OIB است که با غنی شدگی از LREE، HFSE و LILE مشخص می‌شود. براساس نتایج تجزیه نقطه‌ای EPMA، ترکیب شیمیایی کانی‌های الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در الیوین‌گابروها به ترتیب کریزولیت، دیوپسید-اوژیت و لابرادوریت است. نوع آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازهای دیوریت‌های قلیایی نیز با کرسوتیت-مگنزیوهاستینگزیت (کلسیمی) و آلبیت مشخص می‌شوند. کلینوپیروکسن‌ها در الیوین گابروها دارای ماهیت قلیایی و غیرکوهزایی هستند بوده و در فشار حدود ۲ تا ۱۱ کیلوبار، دمای ۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن بالا تشکیل شده‌اند. آمفیبول‌های مورد بررسی نیز از نوع آذرین بوده و دارای خاستگاه گوشته‌ای هستند. دمای تبلور آمفیبول‌ها نیز ۹۵۰ درجه سانتیگراد و فشار تشکیل آنها در گستره ۶۰۰ تا ۷۵۰ مگاپاسکال (معادل ۶ تا ۷/۵ کیلوبار) تعیین شده‌است.

مراجع

[1] Aghanabati A., *"Geology of Iran"*, Geological Survey of Iran, Tehran (2004).

[2] SengorA. M. C., *"A new model for the late Palaeozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman, In: Robertson A. H., Searle M.P., & Ries A. C., (eds) The Geology and Tectonics of the Oman Region"*, Geological Society, London, Special Publications, 49, (1990) 797-831.

[3] Angiolini L., Gaetani M., Muttoni G., Stephenson M.H., & Zanchi A., *"Tethyan oceanic currents and climate gradients 300 m.y. ago"*, Geology, 35, (2007) 1071-1074.

[4] Alavi M., *"Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain System in*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

Alborz zone", M.Sc. Thesis, Faculty of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2003) 140 Pages.

[14] Jamshidi Kh., *" The study of mafic magmatism in the base of Shemshak Formation in the eastern Alborz zone ",* M.Sc. Thesis, Faculty of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2010) 155 Pages.

[15] Ghasemi H., and Jamshidi Kh., *"Geochemistry, petrology and proposed tectonomagmatic model for generation of alkaline basic rocks in the base of the Shemshak Formation, the eastern Alborz zone (In Persian)"*, Iranian Journal Of Crystallography And Mineralogy, 4 (19) (2012) 699-714.

[16] Ghasemi H., and Jamshidi Kh., *"Investigation of source region properties of alkaline basic rocks in the base of Shemshak Formation in the eastern Alborz zone (In Persian)"*, Quarterly Iranian Journal Of Geology, 7 (27) (2013) 17-29.

[17] Salehirad R., *"Gorgan Geological Quadrangle Map 1:250000",* Geological Survey of Iran, Tehran (1990).

[18] Sheydaii Alashlu Z., *"Mineral chemistry and crystallization condition of Gheshlagh intrusive body, Khosh Yeilagh, Shahrood ",* M.Sc. Thesis, Faculty of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2017) 170 Pages.

[19] Ghasemi H., Rostami Hosouri M., and Sadeghian, M.,. *"Basic Magmatism in the Extentional Back-arc Basin of the Lower-Middle Jurassic on the Northern Edge of Central Iran-South of Eastern Alborz Zones, Shahrood-Damghan"(In Persian)*, Geosciences, Scientific Quarterly Journal of Geological Survey of Iran, 27 (107) (2018) 123-136.

[20] Stocklin J., *"Structural history and tectonics of Iran: a review"*, AAPG Bulletin, 52, (1968) 1229-1258.

[21] Jafarian M. B., *"Khosh Yeilagh Geological Quadrangle Map 1:100000",* Geological Survey of Iran, Tehran (2004).

Iran", Journal of Geodynamics, 21(1), (1996) 1-33.

[5] Brunet M.F., Korateav M.W., Arshov A.V., Nikishin A.M., *"The south Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling"*, Sediment. Geol. 148, (2003) 119-156.

[6] Fursich F. T., Wilmsen M., Seyed-Emami K.& Majidifard M. R., *"Lithostratigraphy of the Upper Triassic-Middle Jurassic Shemshak Group of Northern Iran. In: Brunet M.-F., Wilmsen M., & Granth J. W., (eds) South Caspian to Central Iran Basins"*, Geological Society, London, Special Publications, 312, (2009) 129-160.

[7] Wilmsen M., Fursich F.T., Seyed-Emami K., Majidifard M.R., and Taheri J., *"The Cimmerian Orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland"*, Terra Nova., 21, (2009) 211-218.

[8] Allen M. B., Ghasemi M. R., Shahrabi M., & Qorashi M., *"Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range"*, northern Iran. Journal of Structural Geology, 25, (2003) 659-672.

[9] Zanchi A., et al.,. *"The Eo-Cimmerian (Late?Triassic) orogeny in North Iran. In: Brunet M.-F., Wilmsen M., & Granth J. W., (eds) South Caspian to Central Iran Basins"*, Geological Society, London", Special Publications, 312, (2009) 31-55.

[10] Berberian M., & King G., *"Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran"*, Canadian Journal of Earth Sciences, 18, (1981) 210-265.

[11] Doroozi R., Masoudi F., *" Geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Kamarbon Theralitic, Teschenitic gabbroic intrusion (Central Alborz)"*, Journal of Petrology, 12 (2012) 89-102.

[12] Doroozi R., Vaccaro C., Masoudi F., *"Mesozoic alkaline plutonism: Evidence for extensional phase in Alpine-Himalayan orogenic belt in Central Alborz, north Iran"*, Solid Earth Science (2017) 1-18.

[13] Moghadasi S., *"Petrology, petrogenesis and stratigraphy of Jurassic volcanic rocks in Eastern*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.1.8.5]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.1.111]

[22] Middlemost E. A. K., *"Naming materials in the magma igneous rock system"*, Earth Science Reviews 37, (1994) 215-224.

[23] Winchester J.A. and Floyd P.A., *"Geological magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks"*, Earth and Planetary Sciences, 28, (1977) 459-469

[24] Wilson M., "Igneous Petrogenesis", Unwin Hyman, London. 466 (1989).

[25] Sun S.S. and Mc Donough W.F., *"Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: A.D., Saunders and M. J., Norry (Eds): Magmatism in ocean basins"*, Geological Society of London, U. K. Special Publication, 42, (1989) 313-345.

[26] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *"An Introduction to the rock-forming minerals"*, John Wiley and Sons, New York, (1966) P 528.

[27] Morimoto N., Fabries, J., Fergusson A. K., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F. A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G., *"Nomenclature of Pyroxenes"*, American Mineralogist 65, (1988) 1-28.

[28] Le Terrier J., Maurry R. C., Thonon P., Girard D., Marchal M., *"Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinites of paleo-volcanic series",* Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 139-154.

[29] Rollinson H.R., *"Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation"*, Longman (1993).

[30] Nisbet E. G., Pearce J. A., *"Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 63, (1977) 161-173.

[31] Soesoo A., *"A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations"*, Geological Society of Sweden (Geologiska Foreningen) 119, (1997) 55-60.

[32] Kushiro I., *"Partial melting of garnet-Iherzolites from kimberlite at high pressures. In: Lesotho Kimberlites (editor P. H. NIXON)"*, pp. 294-9, Lesotho Nat, Development Corp, (1973) 350 pp.

[33] Bender J.F., Hodges F. N., & Bence, A. E., *"Petrogenesis of basalts from the project FAMOUS area: experimental study from 0 to 15 Kbar"*, Earth and Planetary Science Letters 41, (1978) 277- 302.

[34] Schweitzer E. L., Papike J. J. and Bence A. E., *"Statistical analysis of clinopyroxenes from deep sea basalts"*, American Mineralogist 64, (1979) 501-513.

[35] Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., *"Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names"*, Canadian Mineralogist 35, (1997) 219-246.

[36] Martin R. F., *"Amphiboles in the Igneous Environment"*, Reviews in Mineralogy & Geochemistry 67, (2007) 323-358.

[37] Leake B.E., *"On aluminous and edenitic hornblendes"*. Mineralogical Magazine, 38 (1971) 389-407.

[38] Jiang C.Y., An S.Y., *"On chemical characteristics of calcic amphiboles from igneous rocks and their petrogenesis significance"*, Journal of Mineralogy and Petrology 3, (1984) 1-9 (in Chinese with English abstract).

[39] Zhang J.Q., Li S.R., Santosh. M., Wang J.Z., and Li Q., *"Mineral chemistry of high-Mg diorites and skarn in the Han-Xing Iron deposits of South Taihang Mountains, China: Constraints on mineralization process"*, Ore Geology Reviews 64 (2015) 200-214.

[40] Hawthorne F.C. *"Crystal chemistry of the amphiboles"*, In Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 9A, (1981) 1-102.

[41] Gilbert M.C., Helz R.T., Popp R.K., and Spear F.S. *"Experimental studies of amphibole stability"*, In Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 9B (1982) 229-353.

[42] Ernst W. G., Liu. J., *"Experimental phase-*

equilibrium study of Al and Ti contents of Calcic amphibole in MORB-A semiquantitative thermobarometer", American Mineralogist 83(1998) 952-969.

[43] Raase P., *"Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 45, (1974) 231-236.

[44] Schmidt M. W., *"Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the AI-in-hornblende barometer"* Contributions to Mineralogy and Petrology 110 (1992) 304-310.